

Indicadores de avaliação técnica, económica e ambiental de um sistema de recolha seletiva de resíduos de embalagens

João Miguel Ramiro da Fonseca

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia do Ambiente

Orientadores: Doutor Alexandre Miguel Cordeiro Magrinho
Doutora Elizabeth da Costa Neves Fernandes de Almeida Duarte

Júri:

Presidente: Doutora Ana Cristina Ferreira da Cunha Queda, Professora Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Vogais: Doutor António José Guerreiro de Brito, Professor Associado com Agregação do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa;

Doutor Alexandre Miguel Cordeiro Magrinho, Professor Adjunto da Escola Superior de Tecnologia de Setúbal do Instituto Politécnico de Setúbal.

Lisboa, 2016

Agradecimentos

Gostaria de expressar o meu mais sincero agradecimento:

Ao professor Doutor Alexandre Miguel Magrinho, orientador deste trabalho, por me ter dado a oportunidade de realizar este trabalho. Agradeço também pela sua paciência, dedicação, conselhos, apoio e entusiasmo demonstrado. Foi um prazer trabalhar com ele.

À professora Doutora Elizabeth Almeida Duarte pela confiança que sempre depositou em mim, e pela oportunidade de poder desenvolver esta dissertação. A ela devo todos os conhecimentos que adquiri na área do tratamento de águas, pelos quais estarei sempre grato. Foi um prazer ser aluno da professora, estando grato pela paciência, sugestões e conselhos que me forneceu.

À professora Ana Maria Jorge pela sua paciência, dedicação, e apoio prestado, tendo se mostrado sempre muito acessível e disposta a esclarecer qualquer dúvida.

À AMARSUL, S.A., na pessoa da Diretora Geral, Doutora Sandra da Silva, por me ter dado a oportunidade de poder desenvolver este trabalho, fornecendo acesso aos dados da AMARSUL, sem eles este trabalho não teria sido possível. Agradeço ainda ao Engenheiro Nuno Oliveira e ao Engenheiro Luís Varela, por todo o apoio que me prestaram no acesso aos dados e pelo apoio e esclarecimento de dúvidas, tendo demonstrado sempre enorme disponibilidade

Aos meus amigos, em especial à Sara, ao Jonas e à Joana, por estarem sempre disponíveis e terem sempre uma palavra amiga. Agradeço-vos, pela paciência, apoio, amizade e cumplicidade.

À minha família, em especial aos meus pais e ao meu irmão, pela sua compreensão, paciência, apoio, carinho e pelos seus sábios conselhos.

Resumo

Os sistemas de recolha de resíduos sólidos urbanos e a recolha seletiva de embalagens de plástico, papel e vidro, tem sido alvo de intensa pesquisa ao nível da otimização de rotas. Porém, torna-se necessário avaliar a eficiência desses sistemas, através de indicadores gerais ou de indicadores criados especificamente para os analisar, uma vez que a recolha gera um dos principais encargos para os sistemas de gestão de resíduos.

Esta dissertação contempla a recolha e o cálculo de indicadores utilizados pelo sistema de gestão de resíduos em estudo, a seleção e o cálculo de indicadores apresentados na bibliografia, bem como a criação de alguns indicadores novos, de forma a poder avaliar técnica, económica e ambientalmente o “Estudo de Caso” da AMARSUL, SA.

Este “Estudo de Caso” pretende avaliar o sistema de recolha seletiva de embalagens da AMARSUL, antes e após 2013, ano da implementação do modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores aplicado às fileiras do papel, plástico e vidro e ainda o planeamento e execução de circuitos dinâmicos aplicados à fileira do vidro.

Foram utilizados no total 12 indicadores, sendo 5 utilizados pela AMARSUL, 1 desenvolvido durante a dissertação e 6 selecionados da bibliografia. Em termos globais verifica-se que a fileira do vidro é a que possui melhores resultados, sendo que alguns indicadores indicam que existe ainda capacidade para melhorar, especialmente se existir otimização dos circuitos de recolha. Esta fileira é também a única que cumpre com os limites de emissão de gases de efeito de estufa impostos por [LNEC e ERSAR \(2013\)](#).

Com a implementação do modelo de previsão em 2013, a fileira do plástico demonstra melhorias significativas, pois regista aumentos de eficiência de 57%, verificando-se que a fileira do papel regista o maior aumento de eficiência de 82%.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos Urbanos, Indicadores de recolha seletiva, Otimização da recolha seletiva, Eficiência e custos da recolha seletiva

Abstract

The municipal solid waste (MSW) collection system, as well as the selective collection of plastics, paper/cardboard and glass, has been subject of extensive research on the level of route optimization.

However, since the collection system represents one of the major financial burdens to the waste management system (WMS), it behooves us to evaluate the efficiency of this particular system, by resorting to indicators, both general and specifically created to that particular end.

In order to allow the technical, economical and environmental evaluation of the AMARSUL, S.A. “Case Study”, this dissertation aims to collect and calculate indicators utilized by the WMS, to select and calculate indicators presented in the bibliography, as well as to create new indicators.

This “Case Study” aims to assess the AMARSUL selective package collecting system, before and after the implementation of a model that predicts the level of fullness of garbage containers, applicable to paper, plastic and glass, as well as the planning and execution of dynamic circuits, applied to glass.

In total 12 different indicators were utilized, 5 of which were already in use by AMARSUL, 1 was develop during the present dissertation and the remaining 6 were selected from bibliography.

Overall, the glass stack achieved the best results, although there is still some room for improvement, particularly if an optimization of the collecting routes takes places. This particular stack is also the only one that remains within the established greenhouse gas emission standards, imposed by LNEC and ERSAR.

With the implementation of the model that predicts the level of fullness of garbage containers in 2013, plastics achieved marked improvements, with a 57% increase in efficiency, while paper achieved a 82% increase in efficiency.

Keywords:Solid Urban Waste, Selective Waste Collection indicators, Selective Waste Collection optimization, Efficiency and costs of selective waste collection

Índice Geral

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento e oportunidade do tema	1
1.2	Objetivos	3
1.3	Estrutura da dissertação	3
2	Revisão bibliográfica	5
2.1	Sistemas de recolha de resíduos	5
2.2	Avaliação do desempenho de sistema gestão de resíduos	7
3	Materiais e métodos	15
3.1	Sistema de recolha seletiva	15
3.2	Indicadores de avaliação de sistemas de gestão de resíduos	18
4	Apresentação e discussão dos resultados	27
4.1	Dados de base para cálculo dos indicadores de avaliação do sistema de recolha seletiva da AMARSUL	27
4.2	Embalagens de plástico e metal	32
4.3	Embalagens de papel e cartão	42
4.4	Embalagens de vidro	52
4.5	Análise comparativa entre fileiras	61
4.5.1	Quantidade recolhida por turno	61
4.5.2	Quantidade recolhida por contentor	62
4.5.3	Quantidade recolhida por hora-homem	63
4.5.4	Quantidade recolhida por quilómetro	64
4.5.5	Número de contentores recolhidos por turno	64
4.5.6	Utilização de recursos energéticos	66
4.5.7	Emissão de gases com efeito de estufa	67
4.5.8	Distância percorrida por tonelada de resíduos	68
4.5.9	Eficiência da recolha seletiva	69
4.5.10	Densidade de recolha	70
4.5.11	Produção por habitante	71
4.5.12	Custo do combustível	72
5	Conclusão e considerações finais	75
	Referências bibliográficas	81

Lista de Figuras

2.1	Esquema de aplicação do modelo AHP à gestão de RSU . (Adaptado pelo autor a partir do esquema de Milutinovic et al. 2014).	13
3.1	Localização dos 9 municípios em estudo. (Fonte: <i>Google Maps</i>)	15
3.2	Mapa da localização de todos os ecopontos presentes na área de atuação da AMARSUL. (Fonte: http://www.amarsul.com/ecopontos)	17
3.3	Ilustração da informação relativa a um ecoponto. (Fonte: http://www.amarsul.com/ecopontos)	18
4.1	Evolução anual da quantidade total recolhida por fileira, entre 2011 e 2015.	28
4.2	Evolução anual do número de contentores recolhidos para as três fileiras em estudo.	28
4.3	Evolução anual do número de turnos efetuados, nas três fileiras, entre 2011 e 2015.	29
4.4	Evolução anual dos quilómetros percorridos para as três fileiras, entre 2011 e 2015.	30
4.5	Evolução anual do consumo de combustível para as três fileiras entre 2011 e 2015.	31
4.6	Evolução anual da duração total dos turnos efetuados nas diferentes fileiras, entre 2011 e 2015.	32
4.7	Evolução anual da quantidade recolhida por turno.	33
4.8	Evolução anual da quantidade recolhida por contentor.	34
4.9	Evolução anual da quantidade recolhida por hora-homem.	35
4.10	Evolução anual da quantidade recolhida por quilómetro percorrido.	36
4.11	Evolução anual do número de contentores recolhidos por turno.	36
4.12	Evolução anual da utilização de recursos energéticos.	37
4.13	Evolução anual das emissões de gases com efeito de estufa.	38
4.14	Evolução anual da distância percorrida por tonelada de resíduos recolhidos.	38
4.15	Evolução anual da eficiência de recolha seletiva.	39
4.16	Evolução anual da densidade de recolha.	40
4.17	Evolução anual da produção por habitante.	40
4.18	Evolução anual do custo do combustível.	41
4.19	Evolução anual da quantidade recolhida por turno.	43
4.20	Evolução anual da quantidade recolhida por contentor.	43
4.21	Evolução anual da quantidade recolhida por hora-homem.	44
4.22	Evolução anual da quantidade recolhida por quilómetro percorrido.	45
4.23	Evolução anual do número de contentores recolhidos por turno.	46
4.24	Evolução anual da utilização de recursos energéticos.	46
4.25	Evolução anual das emissões de gases com efeito de estufa.	47
4.26	Evolução anual da distância percorrida por tonelada de resíduos recolhidos.	48
4.27	Evolução anual da eficiência de recolha seletiva.	49
4.28	Evolução anual da densidade de recolha.	49

4.29	Evolução anual da produção por habitante.	50
4.30	Evolução anual do custo do combustível.	51
4.31	Evolução anual da quantidade recolhida por turno.	52
4.32	Evolução anual da quantidade recolhida por contentor.	53
4.33	Evolução anual da quantidade recolhida por hora-homem.	54
4.34	Evolução anual da quantidade recolhida por quilómetro percorrido.	54
4.35	Evolução anual do número de contentores recolhidos por turno.	55
4.36	Evolução anual da utilização de recursos energéticos.	56
4.37	Evolução anual das emissões de gases com efeito de estufa.	57
4.38	Evolução anual da distância percorrida por tonelada de resíduos recolhidos. . . .	58
4.39	Evolução anual da eficiência de recolha seletiva.	58
4.40	Evolução anual da densidade de recolha.	59
4.41	Evolução anual da produção por habitante.	60
4.42	Evolução anual do custo do combustível.	60
4.43	Evolução anual da quantidade recolhida por turno para as três fileiras em estudo, entre 2011 e 2015.	61
4.44	Evolução anual da quantidade recolhida por contentor para as três fileiras em estudo, entre 2011 e 2015.	62
4.45	Evolução anual da quantidade recolhida por hora-homem para as três fileiras em estudo, entre 2011 e 2015.	63
4.46	Evolução anual da quantidade recolhida por quilómetro para as três fileiras em estudo, entre 2011 e 2015.	64
4.47	Evolução anual do número de contentores recolhidos por turno para as três fileiras em estudo, entre 2011 e 2015.	65
4.48	Evolução anual da utilização de recursos energéticos para as três fileiras em estudo, entre 2011 e 2015.	67
4.49	Evolução anual das emissões de gases com efeito de estufa para as três fileiras em estudo, entre 2011 e 2015.	68
4.50	Evolução anual da distância percorrida por tonelada de resíduos para as três fileiras em estudo, entre 2011 e 2015.	69
4.51	Evolução anual da eficiência da recolha seletiva para as três fileiras em estudo, entre 2011 e 2015.	70
4.52	Evolução anual da densidade de recolha para as três fileiras em estudo, entre 2011 e 2015.	71
4.53	Evolução anual da produção por habitante para as três fileiras em estudo, entre 2011 e 2015.	71
4.54	Evolução anual do custo de combustível para as três fileiras em estudo, entre 2011 e 2015.	72

Lista de Quadros

2.1	Indicadores de performance (Adaptado de Mendes <i>et al.</i> 2013).	9
3.1	Quantidade de contentores existentes em superfície ou enterrados.	16
3.2	Capacidades totais dos ecopontos.	16
3.3	Indicadores utilizados pela AMARSUL.	19
3.4	Indicadores de avaliação de sistemas de recolha de resíduos recolhidos na bibliografia.	20
3.5	Indicadores de avaliação de sistemas de resíduos recolhidos na bibliografia.	21
3.6	Indicador desenvolvido no âmbito do “Estudo de Caso”.	24
3.7	Indicadores selecionados para avaliar o sistema de recolha seletiva da AMARSUL.	25
4.1	Dados de base do sistema de recolha seletiva da AMARSUL.	27
4.2	Valores calculados dos indicadores selecionados no período de 2011 a 2015.	33
4.3	Valores calculados dos indicadores selecionados no período de 2011 a 2015.	42
4.4	Valores calculados dos indicadores selecionados no período de 2011 a 2015.	52

Lista de abreviaturas

AHP	Analytic Hierarchy Process
ATTCEI	Associação de Transferência de Tecnologia e Conhecimentos para Empresas e Instituições
ARP	Arc Routing Problem
BSC	Balanced Scorecard
CARP	Capacitated Arc Routing Problem
CVRP	Capacitated Vehicle Routing Problem
EPA	Environmental Protection Agency
ERSAR	Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos
EST/IST	Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Setúbal
EUA	Estados Unidos da América
GPS	Global Positioning System
GVRP	Green Vehicle Routing Problem
IST	Instituto Superior Técnico
MCDA	Mullti-Criteria Decision Analysis
MP–MDVRP	Multi-Product, Multi-Depot Vehicle Routing Problem
NRP	Node Routing Problem
PIB	Produto Interno Bruto
RFID	Radio-frequency Identification
RR	Resíduos Recicláveis
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
RSUI	Resíduos Sólidos Urbanos Indiferenciados
PERSU	Plano Estratégico de Resíduos Urbanos
SGRSU	Sistemas de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos multimunicipal ou intermunicipal
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIGRS	Sistema Integrado de Gestão da Recolha Seletiva
UE	União Europeia
VRP	Vehicle Routing Problem

1 Introdução

1.1 Enquadramento e oportunidade do tema

A gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) é um problema que afeta e preocupa as sociedades desde há algum tempo, tendo se tornado atual devido principalmente ao crescimento populacional, ao desenvolvimento económico e à crescente conscientização das sociedades para os impactos negativos associados à problemática da gestão de resíduos no ambiente. Recentemente os decisores têm sido forçados a considerar o custo-eficácia e os impactos ambientais associados a estes sistemas, principalmente no que se refere ao planeamento do serviço de recolha (Milutinovic *et al.*, 2014; Nuortio *et al.*, 2006).

Em Portugal pela primeira vez, foi definida uma política de gestão de resíduos a nível nacional através da publicação do PERSU I (Plano Estratégico de Resíduos Urbanos), no ano 1997, que estabeleceu a política de gestão de resíduos para o período de 2000 a 2005 (Magrinho *et al.*, 2006).

Esta legislação iluminou a política de gestão de resíduos em Portugal neste período e nos anos seguintes e permitiu o encerramento das lixeiras a céu aberto em território nacional. Foi também este PERSU I que levou à implementação da recolha seletiva e à reciclagem a nível nacional.

Magrinho e Semião (2007) realizaram um estudo onde se analisou a evolução da reciclagem em Portugal nos 5 anos de implementação do PERSU I e através da simulação de cenários até 2011 concluiu que as metas nacionais e europeias de reciclagem para Portugal dificilmente seriam cumpridas.

Se no início a prioridade do PERSU I foi o encerramento das lixeiras a céu aberto e a construção de outras alternativas de gestão de resíduos, como Aterros Sanitários e incineradoras, e a implementação de sistemas de recolha seletiva e reciclagem de embalagens, verifica-se que atualmente a prioridade é o cumprimento das metas estabelecidas pelo PERSU 2020 (Plano Estratégico de Resíduos Urbanos para o período de 2014 a 2020) o aumento das quantidades de materiais recolhidos seletivamente e o desvio de resíduos orgânicos e de materiais recicláveis dos aterros.

Em média na União Europeia (UE) em 2014 foram produzidos $475 \text{ kg hab}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de resíduos sólidos urbanos (RSU), sendo que a Dinamarca foi o maior produtor com $759 \text{ kg hab}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e a Polónia e a Roménia foram os menores produtores com $272 \text{ kg hab}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, tendo Portugal produzido $453 \text{ kg hab}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Foram enviados $132 \text{ kg hab}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de RSU para reciclagem em 2014, o que correspondeu a 66 milhões de toneladas de resíduos (EUROSTAT, 2016).

No ano de 2015 em Portugal foram enviadas para reciclagem 424 092 toneladas de resíduos de embalagens, sendo que 320 629 toneladas tiveram origem na recolha efetuada pelos Sistemas de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos multimunicipal ou intermunicipal (SGRSU), a restante quantidade teve origem na incineração, vidro de vidreiras e tratamento mecânico e biológico.

Assim, 182 014 toneladas são de vidro, 103 394 toneladas de papel/cartão e 115 701 toneladas de embalagens de plástico/metálico (SPV, 2015).

Segundo o Plano Estratégico de Resíduos Urbanos 2020, PERSU 2020, são definidas várias metas, entre elas está, assegurar que os níveis de recolha seletiva atinjam $47 \text{ kg hab}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. É também determinado que a gestão de resíduos corresponde à “recolha, o transporte, a valorização e a eliminação de resíduos, incluindo a supervisão destas operações, a manutenção dos locais de eliminação pós-encerramento, bem como as medidas adotadas na qualidade de comerciante ou corretor”. No PERSU consta ainda que até 31 de Dezembro de 2020 deve ser garantida a reciclagem de no mínimo 70% em peso dos resíduos de embalagens, além de metas por SGRSU e medidas a adotar (MAOTE, 2014).

Em Portugal, as empresas que embalam ou mandam embalar produtos pagam a contribuição ponto verde por cada embalagem colocada no mercado, em função do peso e dos materiais usados, sendo que os fundos assim recolhidos são aplicados para cobrir os custos dos serviços de recolha e triagem. Torna-se assim importante uma solução otimizada em termos do serviço de recolha, horários de recolha e localização de centros de triagem e contentores. Sendo que em Portugal, os custos de recolha representam 66-69%, enquanto os custos de triagem representam cerca de 11-30% dos custos totais do SGRSU (Rodrigues *et al.*, 2014).

Com vista à otimização de um serviço de recolha de RSU é necessário resolver alguns problemas, como a seleção e localização dos contentores, a otimização das rotas escolhidas com o objetivo de reduzir custos e utilização de recursos e a disseminação de boas práticas de recolha, por forma a minimizar a presença de impurezas (Gamberini *et al.*, 2013).

Atualmente os sistemas de gestão de resíduos provenientes de recolha seletiva necessitam de monitorizar o seu desempenho, sendo que a estrutura para proceder a uma avaliação deve incidir sobre: cumprir com as regulamentações impostas, incentivar a melhoria dos serviços, especificar objetivos específicos e passíveis de verificação, regulamentar as atividades técnicas e operacionais e dar suporte aos decisores. Existem poucos estudos que avaliam este tipo de sistemas, principalmente devido à existência de poucos ou nenhuns dados e à falta de critérios e indicadores para se proceder a uma correta avaliação. Será necessário proceder a uma uniformização da forma como os dados são recolhidos, disponibilizados e apresentados, permitindo a comparação entre os diferentes sistemas, tornando mais apropriadas as futuras ações de planeamento e execução dos decisores (Brighenti *et al.*, 2011; Mendes *et al.*, 2013).

Nos últimos anos, alguns estudos têm sido apresentados em todo o mundo com a missão de avaliar sistemas de gestão de resíduos, tendo como principal missão contribuir para a melhoria do serviço prestado às populações, através de possíveis melhorias futuras introduzidas pelos decisores, com base nas avaliações efetuadas. Assim, o presente estudo pretende dar um contributo para avaliar um sistema de gestão de resíduos, em particular a recolha seletiva de embalagens efetuada pela AMARSUL – Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos. S.A., permitindo avaliar o efeito que a mudança introduzida pela empresa, através da implementação de um modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores, que resultou de um projeto de I&DT empresarial, que foi aplicado a partir de março de 2013 às fileiras do plástico/metálico,

papel/cartão e vidro e através da implementação dos circuitos dinâmicos aplicados à fileira do vidro.

1.2 Objetivos

A presente dissertação tem como principal objetivo definir e utilizar indicadores que permitam avaliar em termos técnicos, ambientais e económicos um sistema de recolha seletiva de embalagens. Por forma a alcançar esse objetivo principal foram definidos três objetivos específicos:

- Seleção de indicadores de avaliação técnica, ambiental e económica, apresentados na bibliografia;
- Realizar a avaliação da evolução anual do sistema de recolha seletiva de embalagens da AMARSUL, num período de 5 anos, de 2011 a 2015, com recurso aos indicadores selecionados na literatura científica da especialidade, aos utilizados pela empresa e a outros criados para o efeito;
- Avaliar um sistema de recolha seletiva de embalagens, antes e após, a aplicação de um modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores, em utilização desde 2013, ano em que foi implementado pela AMARSUL.

1.3 Estrutura da dissertação

A dissertação está organizada em cinco capítulos. No primeiro capítulo, é feita uma introdução ao tema em estudo, definem-se objetivos a alcançar, sendo também referido o enquadramento e a estrutura da dissertação. No segundo capítulo, é efetuada uma revisão bibliográfica dos sistemas de recolha de resíduos e dos indicadores de avaliação de sistemas de recolha de resíduos. No terceiro capítulo, são apresentados os indicadores selecionados da bibliografia e os utilizados pela empresa AMARSUL, bem como os criados no âmbito deste trabalho, sendo ainda exposto as características da área e empresa em estudo, assim como dos resíduos considerados. No quarto capítulo, são apresentados os resultados referentes ao cálculo dos indicadores selecionados, e é feita a análise e avaliação da recolha seletiva da AMARSUL, através dos mesmos. No quinto capítulo são apresentadas as conclusões e considerações finais resultantes do tratamento dos resultados.

2 Revisão bibliográfica

2.1 Sistemas de recolha de resíduos

A produção de resíduos sólidos é altamente variável e depende de vários fatores, como o número de habitantes servidos por contentor, o PIB (Produto Interno Bruto) per capita, o modo de vida, a época do ano, entre outros (Nuortio *et al.*, 2006).

As rotas tradicionais utilizadas para a recolha de resíduos sólidos urbanos indiferenciados (RSUI), não contemplam as características específicas dos materiais recicláveis. Os resíduos recicláveis (RR) requerem diferentes veículos e períodos de recolha, podendo também necessitar de diferentes pontos de recolha. Neste contexto, é necessário a criação de diferentes circuitos de recolha para resíduos indiferenciados e recicláveis (Rodrigues *et al.*, 2014).

Os principais problemas ao nível do planeamento do sistema de recolha são o tipo de resíduos recolhidos, a organização do circuito e os veículos utilizados (Bing *et al.*, 2015).

A otimização de um serviço de recolha de resíduos sólidos urbanos de origem doméstica, está intrinsecamente relacionada com a seleção e localização dos contentores, otimização do circuito de recolha minimizando os custos com operadores e veículos, assegurando ao mesmo tempo que as solicitações de recolha são cumpridas, bem como a disseminação de boas práticas na recolha dos resíduos de modo a minimizar a presença de impurezas (Gamberini *et al.*, 2013).

O tempo que um veículo de recolha necessita para carregar e descarregar os resíduos, varia consoante diversos fatores como por exemplo, a tecnologia utilizada, a distância percorrida e a localização do circuito de recolha. Em cidades densamente habitadas e com acentuados congestionamentos, o tempo em que o veículo não está a transportar os resíduos, i.e., carregar/descarregar resíduos, parado no trânsito, entre outros, pode atingir os 50% (Faccio *et al.*, 2011).

Torna-se importante salientar que a quantidade de resíduos, tipo de equipamento utilizado, as distâncias percorridas e o trabalho necessário para operar o sistema de gestão de resíduos sólidos urbanos, são os grandes fatores que influenciam estes sistemas (Kao e Lin, 2002).

É, portanto, primordial que o circuito de recolha esteja otimizado, de modo a que a recolha seja efetuada com a maior eficácia possível, permitindo assim diminuir os custos operacionais, (combustível, manutenção de viaturas e recursos humanos), e os custos ambientais (como o ruído, emissões de gases poluentes) e o congestionamento de viaturas (Faccio *et al.*, 2011).

Os modelos relativos aos circuitos de recolha de resíduos podem ser estáticos, semi-dinâmicos ou dinâmicos, sendo que estes últimos recorrem a dados que estão em constante mutação, como a posição do veículo de recolha, a capacidade de cada contentor e do veículo em tempo real, o trânsito em tempo real, entre outros (Johansson, 2006).

A otimização de um circuito utilizado por uma frota de veículos com o objetivo de servir um conjunto de clientes ou *Vehicle Routing Problem* (VRP), é um dos problemas mais estudados em otimização combinatória. Quando aplicado à recolha de resíduos, o objetivo é criar uma rota

de recolha, começando e acabando numa estação de recolha, de modo a que as necessidades de todos os utilizadores sejam satisfeitas e a distância total otimizada (Nuortio *et al.*, 2006; Golden *et al.*, 2008).

O modelo clássico de VRP, conhecido como *Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)*, permite delinear circuitos otimizados, onde cada veículo apenas percorre uma rota, todos os veículos têm as mesmas características e apenas existe uma central de recolha. O principal objetivo é encontrar as rotas conducentes a um menor custo, de modo que cada local é visitado apenas uma vez, cada veículo começa e acaba uma rota no centro de recolha e a capacidade de cada veículo não é excedida, sendo esta a única limitação do problema de otimização (Braekers *et al.*, 2015).

Atualmente, os dados de entrada de um modelo VRP podem ser estáticos e dinâmicos. Os dados estáticos referem-se ao tipo de contentor, a sua localização, a capacidade máxima em volume e o tipo de resíduos que recebe. Os dados dinâmicos são relativos à capacidade dos contentores e dos veículos que está preenchida em cada momento, aos contentores visitados e à posição dos veículos, sendo que estes dados são obtidos recorrendo a diversas ferramentas, como *Global Positioning System (GPS)*, *Radio-frequency identification (RFID)*, sensores volumétricos, entre outros (Faccio *et al.*, 2011).

Para resolver problemas relacionados com a otimização de percursos de recolha de resíduos existem essencialmente dos tipos de modelos, o *Arc Routing Problem (ARP)* e o *Node Routing Problem (NRP)* que é essencialmente um VRP. O primeiro é um modelo onde os veículos tem de percorrer um conjunto de ruas, este modelo é indicado para situações em que a capacidade do veículo é uma restrição, enquanto que no segundo, os veículos têm de visitar um determinado número de pontos (Zsigraiova *et al.*, 2013). O modelo ARP é utilizado para modelar situações em que a maioria ou a totalidade dos contentores de um dado segmento de rua são recolhidos ao mesmo tempo e a maioria dos segmentos da rua devem ser atravessados pelo veículo de recolha, como acontece em cidades densamente povoadas. O modelo NRP por sua vez, permite considerar individualmente cada contentor, fornecendo assim uma solução mais detalhada (Nuortio *et al.*, 2006).

Usualmente os circuitos de recolha de resíduos sólidos urbanos domésticos, são modelados como um *Capacitated Arc Routing Problem (CARP)*, em que todos os arcos num grafo devem ser visitados para permitir que a recolha seja feita em todas as ruas e em que a limitação é a capacidade dos veículos de recolha, sendo que estes veículos estão inicialmente numa central de recolha. O objetivo do CARP é minimizar o custo total do percurso (Ramos *et al.*, 2014; Golden *et al.*, 2008).

Por outro lado, para circuitos de recolha de resíduos sólidos provenientes do sector comercial, o problema é normalmente modelado como um VRP com intervalos de tempo, uma vez que os comerciantes por vezes impõem que estes intervalos sejam respeitados (Ramos *et al.*, 2014).

Existem ainda outros modelos como o *Multi-Product, Multi-Depot Vehicle Routing Problem (MP-MDVRP)*, em que existe uma combinação da multiplicidade de produtos com a multiplicidade de centros de recolha e o *Green Vehicle Routing Problem (GVRP)* em que o objetivo

é conjugar os custos económicos e ambientais, otimizando o consumo energético do transporte (Ramos *et al.*, 2014; Lin *et al.*, 2014).

Zsigraiova *et al.* (2013) propõe uma metodologia inovadora para a redução de custos operacionais e das emissões atmosféricas. Para tal, combinam a utilização de rotas através de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) com a programação de quando as recolhas são efetuadas. A programação da recolha é feita recorrendo a um modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores. Este modelo foi desenvolvido utilizando dados sobre a evolução histórica ao nível de enchimento dos contentores, aplicando a análise estatística, tendo os resultados obtidos permitido criar incrementos médios diários do nível de enchimento ($\text{m}^3 \text{d}^{-1}$). Esta pode ser uma alternativa à utilização de sensores volumétricos, caso haja dados históricos de vários anos.

Através desta nova abordagem é possível obter ganhos ambientais e económicos como sejam, a redução de custos de investimento na frota de veículos, redução dos custos operacionais (combustível, manutenção, entre outros), eliminação de paragens desnecessárias e a redução do ruído em especial nas áreas urbanas (Faccio *et al.*, 2011).

2.2 Avaliação do desempenho de sistema gestão de resíduos

A avaliação do desempenho de um sistema de gestão de resíduos é geralmente feita através de duas formas: a realização de questionários e o desenvolvimento de indicadores de desempenho, sendo que os questionários podem gerar respostas subjetivas, já que as respostas dependem das perguntas efetuadas. Por outro lado, os indicadores apesar de serem simples e na sua maioria fáceis de perceber, analisam maioritariamente apenas uma determinada característica do sistema (Huang *et al.*, 2011).

Um indicador adequado deve permitir quantificar os objetivos a que um sistema de recolha e tratamento se propõe, como sejam a redução da quantidade de resíduos produzidos, aumentar as taxas de reciclagem, melhorar a satisfação dos clientes melhorando a motivação dos trabalhadores e reduzir a quantidade de resíduos cujo destino final é o aterro, permitindo acima de tudo a redução de custos (Mendes *et al.*, 2013).

Os indicadores devem ser mensuráveis e passíveis de validação, perceptíveis pelo indivíduo comum, relevantes para organizações ambientais e objetivos sociais, fiáveis e comparáveis entre diferentes entidades. Devem também auxiliar o processo de tomada de decisão e permitir aumentar a monitorização e a análise comparativa ao longo do tempo (Tsoulfas e Pappis, 2008; Mendes *et al.*, 2011).

A palavra indicador, que vem do grego “*Indicare*” com o significado de anunciar, indicar algo, sendo usado para medir ou avaliar uma determinada característica, permitindo avaliar de forma quantitativa a eficiência e eficácia de um elemento do serviço prestado pela entidade gestora (Gudmundsson *et al.*, 2012; ERSAR, 2009).

De acordo com EPA (2015) “um indicador ambiental é um valor numérico derivado de medições reais de um condutor, pressão, condição ou estado do ambiente, exposição, saúde

humana ou condição ecológica sobre um domínio geográfico específico, cujas tendências ao longo do tempo representam ou alertam para tendências subjacentes à condição do ambiente”.

Segundo [United Nations \(2007\)](#), um indicador deve ser simples, claro, fácil de utilizar, acessível, permitindo avaliar diferentes sistemas. A partir da utilização de indicadores é possível obter melhores decisões, simplificando, clarificando e tornando a informação acessível aos decisores políticos.

Os indicadores, especialmente aqueles relacionados com o desempenho ambiental, são uma ferramenta indispensável para a tomada de decisão, sendo possível desenvolver políticas inovadoras e design tecnológico. São uma ferramenta essencial para monitorizar o ambiente, informar o publico, servindo ainda de suporte na avaliação de políticas, tendo-se tornado uma componente de políticas nacionais e internacionais desde 1990. Atualmente também são utilizados como uma medida do progresso obtido em direção a um determinado objetivo ([Greene e Tonjes, 2014](#)).

Uma das principais funções de um indicador é a sua utilização para fixar objetivos e avaliar o progresso efetuado por um sistema de gestão de resíduos, sendo particularmente eficaz a determinar como varia o desempenho de um sistema. A avaliação de um sistema de gestão de resíduos deve conter uma abordagem holística, promovendo a utilização de vários indicadores em conjunto com diversas metodologias de análise de ciclo de vida, desenvolvendo técnicas de análise em larga escala ([Greene e Tonjes, 2014](#); [Pires et al., 2011](#)).

Na norma ISO:14031 – *Environmental Performance Evaluation – Guidelines* são desenvolvidos diversos indicadores para avaliar o desempenho ambiental de organizações, independentemente do tipo, tamanho, localização e complexidade, estando divididos em 4 níveis, sendo que normalmente os níveis 2 e 3 são utilizados para avaliar e comparar os sistemas.

O primeiro nível é considerado um indicador absoluto, resultando diretamente da análise *input-output*, e.g., toneladas de um dado material reciclado, o segundo nível é um indicador indexado sendo um valor expresso em percentagem em relação ao total, e.g., taxa de reciclagem, o terceiro nível é um indicador relativo dependendo dos valores relativos de outras variáveis, e.g., reciclagem per capita e por fim o quarto nível são representações agregadas que são os *outputs* de análises de ciclo de vida, e.g., minimização dos consumos energéticos ou redução de emissões gasosas ([Greene e Tonjes, 2014](#)).

A norma ISO:14031 divide os indicadores em duas categorias principais:

Indicadores de condição ambiental, que fornecem informação e dados sobre as condições locais, regionais e globais da qualidade ambiental.

Indicadores de desempenho ambiental, que fornecem informação e dados sobre o desempenho ambiental de uma dada organização sendo classificados em dois tipos, operacionais e administrativos ([Campos et al., 2015](#)).

Existem algumas dificuldades no desenvolvimento e aplicação de indicadores ambientais, por um lado a recolha de dados, especialmente se forem avaliados sistemas de grandes dimensões, por outro lado a falta de qualidade do dados, que pode levar a resultados aproximados, fazendo com que o cálculo de indicadores contenha julgamentos subjetivos, limitando assim o seu valor ([Tsoulfas e Pappis, 2008](#)).

É importante realçar que quanto mais elevado for o nível do indicador, maior é a necessidade de dados, logo torna-se um processo mais complexo. Por outro lado, as incertezas associadas a cada indicador vão-se propagando, sendo necessário ter sempre em consideração essas incertezas, especialmente em ambientes não controlados (Mendes *et al.*, 2011).

Entre alguns estudos publicados estão os trabalhos desenvolvidos por Herva e Roca (2013) e Cifrian *et al.* (2012) em que são desenvolvidos indicadores ecológicos como a pegada ecológica e a pegada de carbono respectivamente.

No desenvolvimento de indicadores de avaliação de sistemas de gestão de resíduos sólidos urbanos podem ser usadas diversas metodologias. Mendes *et al.* (2013) desenvolveram inicialmente 57 indicadores, que permitiam representar a vertente ambiental, financeira, humana, recursos operacionais e ainda de infraestrutura, de modo a avaliar o desempenho de um sistema de gestão de resíduos numa zona com variabilidade sazonal de residentes. Destes 57 indicadores iniciais, apenas alguns foram selecionados. A seleção foi feita em conjunto com as autoridades responsáveis pela gestão dos resíduos sólidos e outras partes interessadas como a população, administração central, entre outros. Os indicadores finais a utilizar na metodologia *Balanced Scorecard* (BSC), foram reduzidos a 24, estando divididos em quatro categorias: clientes, processos internos, aprendizagem e crescimento e custos. No Quadro 2.1 apresentam-se alguns indicadores e a perspetiva da sua utilização.

Quadro 2.1: Indicadores de performance (Adaptado de Mendes *et al.* 2013).

Perspetiva	Indicadores
Clientes	Índice de satisfação dos cidadãos (%)
	Produção de resíduos sólidos per capita ($\text{kg hab}^{-1} \text{ dia}^{-1}$)
	Percentagem de aterro (%)
	Taxa de reciclagem (%)
Processos internos	Respostas escritas a sugestões e reclamações (%)
	Utilização da capacidade de manuseamento ($\text{kg equipamento}^{-1} \text{ ano}^{-1}$)
	Utilização do parque de veículos (km veículo^{-1})
	Capacidade do parque de veículos ($\text{kg m}^{-3} \text{ ano}^{-1}$)
	Dimensão dos trabalhadores a tempo inteiro (Trabalhadores 10^3 t^{-1})
	Capacidade de deposição de resíduos sólidos indiferenciados (l habitante^{-1})
	Utilização de recursos energéticos (l t^{-1})
	Emissão de gases com efeito de estufa ($\text{kg CO}_2 \text{ t}^{-1}$)
	Taxa de separação de resíduos para reciclagem (%)
Aprendizagem e crescimento	Acidentes de trabalho (Número 100 trabalhadores $^{-1} \text{ ano}^{-1}$)
	Taxa de absentismo (%)
Custos	Número de horas de formação ($\text{h trabalhador}^{-1} \text{ ano}^{-1}$)
	Custo total da deposição (€ t^{-1})
	Custos totais (€ ano^{-1})

Karagiannidis *et al.* (2004) desenvolveram quatro indicadores por forma a avaliar e comparar a eficiência e eficácia dos sistemas de recolha da zona urbana de Tessalónica, os indicadores foram:

- Indicador A: Quantidade de resíduos recolhidos / Horas de recolha
- Indicador B: Número de habitações servidas / Horas de recolha
- Indicador C: Custo de recolha / Quantidade de resíduos recolhidos

- Indicador D: Custo de recolha / Número de habitações servidas num dado período de tempo

Outros indicadores de operação são citados em [LNEC e ERSAR \(2013\)](#), [ERSAR \(2009\)](#), [Parekh et al. \(2014\)](#) e [Zaman \(2014\)](#) são:

- Renovação do parque de viaturas (km viatura^{-1})
- Rentabilização do parque de viaturas (kg m^{-3})
- Adequação dos recursos humanos (N° trabalhadores 10^3 t^{-1})
- Utilização de recursos energéticos (kWh t^{-1})
- Emissão de gases com efeito de estufa ($\text{kg CO}_2 \text{ t}^{-1}$)
- Acessibilidade do serviço de recolha seletiva (%)
- Lavagem de contentores (-)
- Reciclagem de resíduos de embalagem (%)
- Distância percorrida por tonelada resíduos (km t^{-1})
- Frequência de recolha (-)
- Quantidade de resíduos recolhidos por dólar gasto ($\text{kg \$}^{-1}$)
- Número de contentores (-)
- Tipo de contentores (-)
- Capacidade dos contentores (-)
- Contentores deixados por recolher (%)
- Taxa de eficácia de recolha (%)
- Média de viagens realizadas por condutor e por dia ($\text{viagem condutor}^{-1} \text{ dia}^{-1}$)
- Média do consumo de combustível ($\text{l t}^{-1} \text{ km}^{-1}$)

[Mendes et al. \(2013\)](#) mostram que existe uma grande diferença nos quilómetros percorridos durante a época alta e a época baixa. Para corrigir este problema é proposto proceder a uma otimização dos circuitos de recolha, de modo a aproximar os quilómetros percorridos nas duas épocas.

Uma outra abordagem possível é aquela proposta por [Huang et al. \(2011\)](#), em que é desenvolvido um indicador agregado, composto por diversos indicadores, tornando-se assim mais fácil de utilizar e proceder à sua apresentação ao público. A seleção dos indicadores de desempenho foi feita recorrendo a cinco critérios. 1º. – A plenitude do sistema, de modo a que os indicadores

pudessem avaliar de forma integral o sistema de recolha de resíduos sólidos urbanos, como por exemplo, os custos de recolha, a distância, o trabalho necessário, entre outros; 2º. – A aplicabilidade, o indicador devia ser capaz de responder às mudanças no desempenho do sistema de recolha; 3º. – A capacidade de avaliar resultados, i.e., os dados necessários a cada indicador devem estar disponíveis com regularidade; 4º. – A semelhança, de modo a evitar indicadores que avaliassem a mesma característica, foram realizados testes de correlação de Pearson; 5º. – A distinção, assim se dois indicadores são altamente correlacionados, um deles é eliminado. O indicador agregado é depois gerado através do método CW modificado.

A seleção e validação dos indicadores é bastante importante, pois estes devem ser escolhidos utilizando uma abordagem científica. Existem três aspetos importantes ao escolher um indicador. O primeiro é a representação, o indicador deve ser representativo do que se pretende avaliar, o segundo aspeto relaciona-se com a prática com que o indicador pode ser utilizado, devendo ser escolhidos os indicadores que tenham melhor e maior quantidade de dados disponíveis. Por último existe o aspeto do contexto, o indicador deve fornecer informação relevante e apropriada, não sendo ambíguo, tendo em conta que os indicadores nunca deixam de ser subjetivos e nem sempre completamente neutros em relação ao que avaliam, sendo importante considerar qual o contexto em que se inserem ([Gudmundsson et al., 2012](#)).

[Bringhenti et al. \(2011\)](#) propõe uma metodologia para o desenvolvimento de indicadores de avaliação de um sistema de recolha seletiva de resíduos, compreendendo diferentes passos, como a auto-validação, validação científica e social. É proposto que se faça inicialmente a escolha dos indicadores, recorrendo a bibliografia e visitas a instalações de recolha e tratamento de resíduos provenientes de recolha seletiva. Em seguida, são elaborados questionários, onde diversos operadores de diferentes sistemas de recolha seletiva avaliam os indicadores anteriormente selecionados. Seguidamente, deve ser feita uma análise estatística descritiva e de análise multivariada, após a qual é aplicada a técnica Delphi em que vários especialistas avaliam os indicadores até chegarem a um consenso, com a junção destas duas fases são escolhidos os indicadores que obtiverem melhor avaliação.

A tomada de decisão por parte dos decisores pode ser feita em modelos de tomada de decisão sustentáveis para diferentes cenários de gestão de resíduos. Além dos modelos de análise custo-benefício e análise de ciclo de vida podem também ser encontrados na bibliografia modelos baseados na análise multicritério ([Morrissey e Browne, 2004](#)).

Os modelos baseados em *multi-criteria decision analysis* (MCDA) são considerados apropriados para avaliar a sustentabilidade de um modelo de gestão de resíduos, uma vez que os critérios sociais, ambientais e económicos podem ser conflitivos e por natureza muito diversos e expressos em unidades diferentes. Entre os benefícios da análise multicritério está a possibilidade de utilizar critérios quantitativos e qualitativos, i.e., indicadores de desenvolvimento sustentável, permitindo também a diferentes grupos de tomadores de decisão a possibilidade de participar no processo, mesmo que tenham objetivos diferentes entre a definição de indicadores e a tomada de decisão ([Milutinovic et al., 2014](#)).

Entre os modelos baseados na decisão por análise multicritério está o *Analytic Hierarchy*

Process (AHP). O modelo AHP desenvolve-se através de comparações emparelhadas e depende de avaliações realizadas por peritos para obter escalas prioritárias. O processo de decisão está organizado em quatro etapas:

- Definir o problema e perceber que tipo de conhecimento procurar;
- Estruturar a hierarquia da decisão a partir do topo com o objectivo da decisão, seguidos de objetivos com uma ampla perspetiva, através de níveis intermédios, até ao nível mais baixo (por norma esse nível é um conjunto de alternativas);
- Construir matrizes de comparação emparelhadas, em que cada elemento num nível superior é utilizado para comparar os elementos no nível imediatamente abaixo;
- Utilizar as prioridades obtidas na comparação para ponderar as prioridades no nível imediatamente abaixo. Realizar esta operação para todos os elementos. Adicionar a ponderação aos níveis inferiores e obter a prioridade global. O processo deve ser efetuado até as prioridades finais no nível mais baixo serem obtidas (Saaty, 2008).

As comparações emparelhadas são feitas de acordo com a escala definida por Saaty (2008) que indica quão maior é a importância e dominância de um elemento sobre outro, esta escala vai de 1 a 9. Se as atividades tiverem importâncias muito semelhantes, então é definida uma escala de 1.1 a 1.9. As prioridades são obtidas elevando a matriz a elevadas potências e posteriormente somando a soma de cada linha da matriz dividindo esta soma pela soma do total de todas as linhas (Saaty, 2008).

Uma possibilidade de aplicação à gestão de resíduos sólidos urbanos pode ser observada na Figura 2.1.

Para escolher indicadores é importante definir bem o problema e o que se está a avaliar, tendo em conta os efeitos e as causas desse problema (Gudmundsson *et al.*, 2012).

(Greene e Tonjes, 2014) demonstraram que a taxa de reciclagem, bastante utilizada na avaliação do desempenho ambiental de um sistema de gestão de resíduos, pode não ser por si só suficiente para determinar a qualidade ambiental relativa deste tipo de sistemas, uma vez que não encontraram correlação entre *rankings* para taxa de reciclagem e taxa de desvio (razão entre quantidade de resíduos sólidos urbanos não encaminhados para aterro ou incineração e a quantidade de resíduos sólidos urbanos recolhidos), entre taxa de reciclagem e taxa de deposição em aterro, entre toneladas recicladas e toneladas depositadas em aterro ou taxa de desvio e taxa de aterro, o que corrobora a observação de que nos Estados Unidos da América (EUA), os municípios com maior taxa de reciclagem, estão também a depositar grandes quantidades de resíduos em aterro. Deste modo as conclusões de que um determinado município tem melhor qualidade ambiental devido a ter elevadas taxa de reciclagem, podem não ser totalmente verdadeiras, sendo necessário um maior número de indicadores para comprovar essa qualidade.

Segundo Ricci (2003), os custos de um sistema de gestão de resíduos não devem ser representados em ($\text{€ t}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e sim em ($\text{€ habitante}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), pois desta forma é possível comparar a competitividade em termos de custos de diferentes sistemas. Tal decorre do facto de que o custo

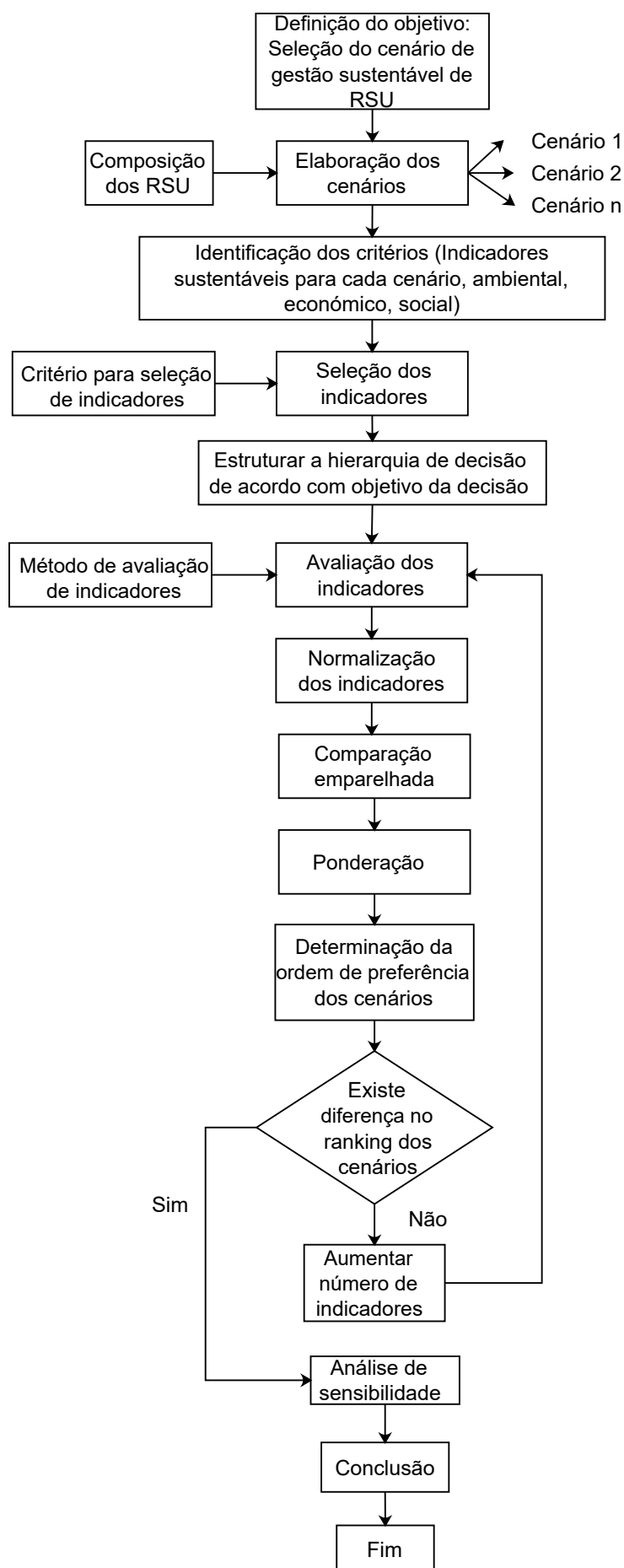


Figura 2.1: Esquema de aplicação do modelo AHP à gestão de RSU. (Adaptado pelo autor a partir do esquema de Milutinovic *et al.* 2014).

do sistema não é pago em função da quantidade recolhida e sim do custo global de operação de um sistema que inclui a frequência e o número de recolhas, o número de trabalhadores, o custo de tratamento, entre outros.

Os custos totais de um sistema de recolha incluem custos diretos e indiretos. De acordo com a classificação definida pela *Environmental Protection Agency* ([EPA](#)), estes incluem, os custos iniciais de aquisição de viaturas, equipamentos, contentores entre outros, sendo estes considerados os *up-front costs*, são também definidos os custos operacionais ou *operating costs*, que incluem o custo do combustível, gestão da recolha diária de resíduos e trabalhadores ([D’Onza et al., 2016](#)).

Esta dissertação pretende fornecer indicadores que possam possibilitar uma avaliação segura e robusta de um sistema de recolha seletiva de resíduos embalagens, para tal irá selecionar-se uma série de indicadores recolhidos através de pesquisa bibliográfica e que se julgam importantes. Dessa lista de indicadores, proceder-se-á à adequação daqueles que se julgam os mais importantes e robustos, para avaliação de um sistema de recolha seletiva de resíduos. Além disso, serão também calculados os indicadores selecionados com dados reais num “Estudo de Caso”, pretendendo-se fornecer novas informações ao [SGRSU](#) em estudo, de modo a fornecer melhores ferramentas para poder analisar e melhorar o seu sistema de recolha seletiva.

O trabalho desenvolvido nesta dissertação terá também, certamente, interesse para outros [SGRSU](#) e para a própria [ERSAR](#), na medida em que é possível perceber como outros indicadores que não apenas os da [ERSAR](#) avaliam um sistema real de recolha seletiva de resíduos.

3 Materiais e métodos

3.1 Sistema de recolha seletiva

O sistema de recolha seletiva de resíduos de embalagem, sobre o qual incide o “Estudo de Caso” abordado nesta dissertação, é gerido pela empresa AMARSUL – Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos, S.A.. Esta empresa foi constituída em 1997, e atualmente opera nos 9 municípios urbanos que compõe a Península de Setúbal, sendo que 51% é de capital privado e os restantes 49% pertencem aos municípios (AMARSUL, 2016).

As suas infraestruturas são compostas por três Ecoparques: de Palmela, Seixal e Setúbal e sete Ecocentros, além de gerir também dois aterros localizados em Palmela e no Seixal.

Nesta dissertação será abordada como “Estudo de Caso” a recolha seletiva de embalagens recolhidas em “ecoponto”, sendo que a AMARSUL dispõe ainda de recolha porta-a-porta e em ecocentros não analisadas nesta dissertação, nos nove municípios da Península de Setúbal, onde a AMARSUL opera.

Os nove municípios abrangidos pela AMARSUL são Alcochete, Almada, Barreiro, Moita, Montijo, Palmela, Seixal, Sesimbra e Setúbal, cuja área total é de 1625,3 km² e a população residente corresponde a cerca de 775 000 habitantes (INE, 2011).

Estão integrados no distrito de Setúbal, pertencendo à Área Metropolitana de Lisboa, localizando-se na margem Sul do Rio Tejo.



Figura 3.1: Localização dos 9 municípios em estudo. (Fonte: *Google Maps*)

Importa referir que um ecoponto é o conjunto de contentores que se destina à recolha de resíduos domésticos específicos de embalagens e que tem como destino a reciclagem. A recolha dos contentores é realizada pela AMARSUL, S.A., sendo executada por tipo de material, individualmente, sendo efetuada por um motorista e um auxiliar, ou apenas por um motorista por veículo de recolha.

Os materiais recolhidos em ecoponto alvo desta dissertação são as embalagens de papel/cartão, de plástico/metall e de vidro.

A AMARSUL dispõe de dois tipos de ecopontos: ecopontos de superfície, divididos na sua grande maioria entre os modelos CYCLEA e TITAN e os subterrâneos repartidos maioritariamente entre “Molok”, “Sotkon”, “BlueBee”, “TNL”, “Opieco” e “Resopree”. No Quadro 3.1 é ilustrada a quantidade de ecopontos e o tipo em função das suas características.

Quadro 3.1: Quantidade de contentores existentes em superfície ou enterrados.

Características	Tipo	AMARSUL	Empresa ¹
Enterrado	Ecoponto	122	0
	Vidrão	2	0
Superfície	Ecoponto	2413	29
	Embalão	4	3
	Papelão	7	4
	Papelão/Embalão	9	2
	Vidrão	295	0
	Vidrão/Embalão	7	1
	Vidrão/Papelão	0	1

1 - Adquiridos pela empresa onde estão colocados

As capacidades totais variam consoante o resíduo que recebem, apresentando-se no Quadro 3.2 o número total de contentores em função da sua capacidade.

Quadro 3.2: Capacidades totais dos ecopontos.

Capacidade (m ³)	Embalagens	Resíduos Papel e/ou Cartão	Vidro
1,5	0	0	163
2	2	0	77
2,5	2670	2619	2494
3	113	111	150
5	10	10	0

Atualmente a empresa dispõe de 14 viaturas de recolha para resíduos de papel e embalagens, com um peso bruto de 26 toneladas e que utilizam auto compactadores de carga superior acoplados com grua. A capacidade máxima é de aproximadamente 3500 kg para os resíduos de embalagens e cerca de 5500 kg para resíduos de papel e/ou cartão. Em relação às viaturas de recolha de vidro, estas são na sua totalidade 3, dispondo de caixa aberta e grua, tendo um peso bruto de 19 toneladas. A capacidade máxima é de aproximadamente 8000 kg para resíduos de vidro. De momento todas as viaturas mencionadas utilizam gasóleo para o seu funcionamento.

Através da recolha de resíduos depositados em ecopontos, porta-a-porta e nos ecocentros, em todo o ano de 2015 e na totalidade sua área de operação, a empresa recolheu 5587 toneladas de embalagens de plástico e metal, 7191 toneladas de embalagens de vidro e ainda 7110 embalagens de papel/cartão (AMARSUL, 2016).

Atualmente a AMARSUL dispõe do designado Sistema Integrado de Gestão da Recolha Seletiva (SIGRS) que resulta de um projeto de I&DT realizado em cooperação com a Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Setúbal (EST/IST) e o Instituto Superior

Técnico (IST) e que foi desenvolvido posteriormente pela Associação de Transferência de Tecnologia e Conhecimentos para Empresas e Instituições (ATTCEI) e implementado em março de 2013, com a sua colaboração.

Este sistema integra o já referido modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores, que permite prever com precisão a cada instante o nível de enchimento de cada contentor de cada ecoponto, permitindo assim melhorar a eficiência e reduzir os custos do sistema de recolha, já que com este sistema de previsão é possível ter circuitos de recolha que melhor serviço prestam à população, evitando-se o transbordo e o acumular de resíduos fora do ecoponto, bem como a recolha de ecopontos que ainda não atingiram o nível de enchimento necessário para a recolha. No caso da fileira do vidro, e com base na referida previsão do nível de enchimento, são planeados e realizados circuitos dinâmicos de recolha dos ecopontos, que variam diariamente em função do nível de enchimento dos diversos contentores, sendo apenas recolhidos os contentores que se encontram acima de um determinado nível de enchimento, definido pela gestão. Em relação às fileiras do plástico e papel, as rotas foram definidas ao ajustar os contentores a recolher em grupos, em função do nível de enchimento e de modo a encher a caixa de carga, sendo que estas rotas são fixas, podendo, no entanto, voltar a ser alteradas após algum tempo, por exemplo, meses. Importa ainda referir que em resultado de estudos anteriores, verifica-se que a AMARSUL não é afetada pela sazonalidade, como tal, não há alterações significativas de produção dos referidos resíduos ao longo do ano.

A empresa disponibiliza no seu site um mapa detalhado e atualizado de todos os ecopontos que gere, onde consta a data da última recolha e a data prevista para a futura recolha para cada ecoponto em função da previsão do nível de enchimento dos mesmos. A aplicação informática que disponibiliza esta informação foi também desenvolvida e implementada pela ATTCEI.

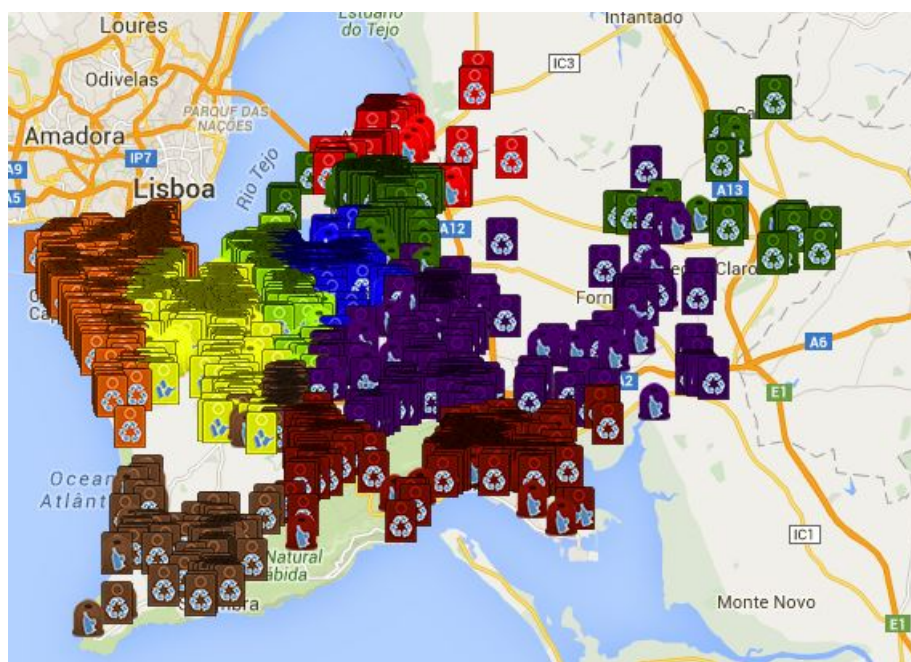


Figura 3.2: Mapa da localização de todos os ecopontos presentes na área de atuação da AMARSUL. (Fonte: <http://www.amarsul.com/ecopontos>)

Seguidamente ilustra-se, através da Figura 3.3, a informação disponibilizada pela AMARSUL relativa a um ecoponto localizado no concelho do Barreiro.

Informação do Ecoponto

Código	B0256
Tipo	Ecoponto
Estado	Colocado
Período Colocação	Definitivo
Morada	Rua José Afonso - Qt.ª do Castelo do Outeiro - Santo António da Charneca
Freguesia	Santo António da Charneca
Concelho	Barreiro

Contentores

	Papel/Cartão
Última Recolha	18-03-2016
Prev. Próx. Recolha	29-04-2016
	Vidro
Última Recolha	24-07-2015
Prev. Próx. Recolha	Não disponível
	Embalagens
Última Recolha	27-04-2016
Prev. Próx. Recolha	09-05-2016



Para mais informações:
[Fale connosco.](#)

Figura 3.3: Ilustração da informação relativa a um ecoponto. (Fonte: <http://www.amarsul.com/ecopontos>)

3.2 Indicadores de avaliação de sistemas de gestão de resíduos

Neste subcapítulo, serão apresentados todos os indicadores identificados no presente trabalho, dando-se especial atenção aqueles que serão utilizados para avaliar técnica, económica e ambientalmente o sistema de recolha seletiva em estudo. Os indicadores selecionados irão ser posteriormente calculados num período de cinco anos, entre 2011 e 2015, de modo a que seja possível comparar os valores dos indicadores, antes e após a introdução do modelo de previsão do nível de enchimento dos circuitos dinâmicos, que ocorreu em março de 2013.

Em seguida, serão apresentados três quadros, o primeiro corresponde a indicadores utilizados atualmente pela AMARSUL, o segundo corresponde a indicadores recolhidos na bibliografia e relacionados diretamente com os sistemas de recolha e o terceiro corresponde a indicadores gerais de avaliação de sistemas de gestão de resíduos. Nos quadros será apresentada também a respetiva fórmula de cálculo, as unidades em que se expressa cada indicador e ainda a respetiva referência bibliográfica.

Quadro 3.3: Indicadores utilizados pela AMARSUL.

Nome	Equação
Quantidade recolhida por turno (kg turno^{-1}) ¹	$\frac{\text{Quantidade total recolhida}}{\text{Número total de turnos realizados}}$
Quantidade recolhida por contentor (kg contentor^{-1})	$\frac{\text{Quantidade total recolhida}}{\text{Número total de contentores recolhidos}}$
Quantidade recolhida por hora-homem (kg hH^{-1})	$\frac{\text{Quantidade total recolhida}}{\text{Número total de horas-homem despendidas}}$
Quantidade recolhida por quilómetro (kg km^{-1})	$\frac{\text{Quantidade total recolhida}}{\text{Número total de quilómetros percorridos}}$
Combustível utilizado por quantidade recolhida (l t^{-1})	$\frac{\text{Número de litros gasto}}{\text{Quantidade total recolhida}}$

1 - Um turno equivale a 8 horas de trabalho, que pode incluir diversos serviços, i.e., a viatura pode carregar a carga total, ir descarregar e voltar para fazer mais um serviço.

Quadro 3.4: Indicadores de avaliação de sistemas de recolha de resíduos recolhidos na bibliografia.

Nome	Equação	Referência
Taxa de reciclagem (%)	$\frac{\text{Produção de resíduos recicláveis}}{\text{Produção de resíduos sólidos mistos}} \times 100$	Mendes <i>et al.</i> 2013
C (€ t ⁻¹)	$\frac{\text{Custo da recolha}}{\text{Quantidade de resíduos recolhidos}}$	Karagiannidis <i>et al.</i> 2004
Reciclagem de resíduos de embalagem (%)	$\frac{\text{Resíduos de embalagem recolhidos seletivamente}}{\text{Objetivo de retoma de resíduos de embalagem}} \times 100$	LNEC e ERSAR 2013
Emissão de gases com efeito de estufa (kg CO ₂ t ⁻¹)	$\frac{\text{Emissões de CO}_2 \text{ das viaturas de recolha de resíduos}}{\text{Resíduos de embalagens recolhidos seletivamente}}$	LNEC e ERSAR 2013
Distância percorrida por tonelada resíduos (km t ⁻¹)	$\frac{\text{Distância percorrida pelo veículo de recolha}}{\text{Quantidade de resíduos recolhida}}$	Zaman 2014
Contentores deixados por recolher (%)	$\frac{\text{Número de contentores não recolhidos}}{\text{Número total de contentores}} \times 100$	Parekh <i>et al.</i> 2014
Média do consumo de combustível (l t ⁻¹ km ⁻¹)	—	Parekh <i>et al.</i> 2014
Quantidade mensal recolhida seletivamente (t mês ⁻¹)	$\frac{\text{Quantidade resíduos seletivos recolhidos}}{\text{Meses}}$	Bringhenti 2004
Eficiência da recolha seletiva (t km ⁻¹ h ⁻¹)	$\frac{\text{Quantidade de resíduos recolhidos}}{\text{Quilómetros percorridos} \times \text{Tempo gasto na recolha}}$	Bringhenti 2004
Densidade de recolha (t h ⁻¹)	$\frac{\text{Quantidade de resíduos recolhidos}}{\text{Tempo gasto na recolha}}$	Bringhenti 2004
Custo mensal da operação de recolha e transporte (€)	$\sum \text{Custos mensais de recolha e transporte}$	Bringhenti 2004

Quadro 3.5: Indicadores de avaliação de sistemas de resíduos recolhidos na bibliografia.

Nome	Equação	Referência
Índice de satisfação dos cidadãos (%)	$\frac{\text{Número questionários BOM} \times 1 + \text{Número questionários RAZOÁVEL} \times 0,6 + \text{Número questionários MELHOROU} \times 0,3}{\text{Número questionários realizados} - \text{Número questionários sem opinião}} \times 100$	Mendes <i>et al.</i> 2013
Produção de resíduos sólidos per capita (kg hab ⁻¹ dia ⁻¹)	$\frac{\text{Produção de RSU}}{\text{População residente/Período de referência}}$	Mendes <i>et al.</i> 2013
Percentagem de aterro (%)	$\frac{\text{Resíduos sólidos mistos}}{\text{Produção de RSU}} \times 100$	Mendes <i>et al.</i> 2013
Respostas escritas a sugestões e reclamações (%)	$\frac{\text{Reclamações e sugestões}}{\text{Resposta a reclamações e sugestões}} \times 100$	Mendes <i>et al.</i> 2013
Utilização da capacidade de manuseamento (kg equipamento ⁻¹ ano ⁻¹)	$\frac{\text{Produção de resíduos sólidos mistos}}{\text{Equipamento manuseado instalado}}$	Mendes <i>et al.</i> 2013
Capacidade do parque de veículos (kg m ⁻³ ano ⁻¹)	$\frac{\text{Resíduos sólidos mistos recolhidos} + \text{Resíduos grandes dimensões recolhidos}}{\text{Capacidade instalada de veículos de recolha de resíduos}}$	Mendes <i>et al.</i> 2013
Capacidade de deposição de resíduos sólidos indiferenciados (l habitante ⁻¹)	$\frac{\text{Volume de contentores instalado}}{\text{População residente}}$	Mendes <i>et al.</i> 2013
Utilização de recursos energéticos (l t ⁻¹)	$\frac{\text{Combustível consumido}}{\text{Resíduos sólidos mistos recolhidos} + \text{Resíduos grandes dimensões recolhidos}}$	Mendes <i>et al.</i> 2013
Taxa de separação de resíduos para reciclagem (%)	$\frac{\text{Separação de resíduos por tipo (vidro, plástico, metal)}}{\text{Resíduos recicláveis recolhidos}} \times 100$	Mendes <i>et al.</i> 2013
Acidentes de trabalho (Número 100 trabalhadores ⁻¹ ano ⁻¹)	$\frac{\text{Acidentes no trabalho}}{\text{Pessoal designado para serviço de gestão de resíduos}}$	Mendes <i>et al.</i> 2013

Nome	Equação	Referência
Taxa de absentismo (%)	$\frac{\text{Dias de trabalho perdidos}}{\text{Dias de trabalho} \times \text{Pessoal designado para serviço de gestão de resíduos}} \times 100$	Mendes <i>et al.</i> 2013
Nº horas de formação (h trabalhadores ⁻¹ ano ⁻¹)	$\frac{\text{Horas de formação assistidas}}{\text{Pessoal desingado para serviço de gestão de resíduos}}$	Mendes <i>et al.</i> 2013
Custo total deposição (€ t ⁻¹)	$\frac{\text{Custo deposição em aterro}}{\text{RSU enviados para aterro}}$	Mendes <i>et al.</i> 2013
Custos totais (€ ano ⁻¹)	$\sum \text{Custos totais anuais}$	Mendes <i>et al.</i> 2013
A (t h ⁻¹)	$\frac{\text{Quantidade de resíduos recolhidos}}{\text{Horas despendidas na recolha}}$	Karagiannidis <i>et al.</i> 2004
B (habitações h ⁻¹)	$\frac{\text{N}^{\text{a}} \text{ habitações servidas}}{\text{Horas despendidas na recolha}}$	Karagiannidis <i>et al.</i> 2004
D	$\frac{\text{Custo de recolha}}{\text{Número de habitações servidas num dado período de tempo}}$	Karagiannidis <i>et al.</i> 2004
Acessibilidade do serviço de recolha seletiva (%)	$\frac{\text{Número de alojamentos com serviço de recolha seletiva}}{\text{Número de alojamentos existentes}} \times 100$	LNEC e ERSAR 2013
Acessibilidade económica do serviço (%)	$\frac{\text{Encargo médio com o serviço de gestão de resíduos urbanos}}{\text{Rendimento médio disponível familiar}} \times 100$	LNEC e ERSAR 2013
Lavagem de contentores	$\frac{\text{Número de contentores lavados por ano}}{\text{Número de contentores}}$	LNEC e ERSAR 2013
Cobertura dos gastos totais (-)	$\frac{\text{Rendimentos e ganhos totais}}{\text{Gastos totais}}$	LNEC e ERSAR 2013

Nome	Equação	Referência
Renovação do parque de viaturas (km viatura ⁻¹)	$\frac{\text{Quilómetros percorridos pelas viaturas de recolha}}{\text{Viaturas afectas à recolha de resíduos}}$	LNEC e ERSAR 2013
Rentabilização do parque de viaturas (kg m ⁻³)	$\frac{\text{Resíduos urbanos recolhidos indiferenciadamente}}{\text{Capacidade instalada de viaturas de recolha de resíduos}}$	LNEC e ERSAR 2013
Adequação dos recursos humanos (Nº trabalhadores 10 ³ t ⁻¹)	$\frac{\text{Pessoal afeto ao serviço gestão resíduos} + \text{Pessoal em outsourcing afeto ao serviço gestão resíduos}}{\text{Resíduos entrados nas infraestruturas de processamento em alta}} \times 1000$	LNEC e ERSAR 2013
Utilização de recursos energéticos (kWh t ⁻¹)	$\frac{\text{Energia consumida da rede exterior} - \text{Energia vendida obtida por valorização energética}}{\text{Resíduos entrados nas infraestruturas de processamento em alta}}$	LNEC e ERSAR 2013
Capacidade dos contentores (-)	—	Zaman 2014
Frequência de recolha (-)	—	Zaman 2014
Quantidade de resíduos recolhidos por dólar gasto (t \$ ⁻¹)	$\frac{\text{Quantidade de resíduos recolhida}}{\text{Custo total da recolha}}$	Zaman 2014
Número de contentores (-)	—	Zaman 2014
Tipo de contentores (-)	—	Zaman 2014
Média de viagens realizadas por condutor e por dia (-)	—	Parekh <i>et al.</i> 2014

No Quadro 3.6 apresenta-se um indicador, que foi desenvolvido durante a dissertação, para permitir uma melhor avaliação da evolução da recolha seletiva na AMARSUL e melhor perceber o impacto da implementação do modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores em todas as fileiras e dos circuitos dinâmicos na fileira do vidro.

Quadro 3.6: Indicador desenvolvido no âmbito do “Estudo de Caso”.

Nome	Equação
Número de contentores recolhidos por turno (contentores turno ⁻¹)	$\frac{\text{Número de contentores}}{\text{Número de turnos}}$

A escolha dos indicadores, a utilizar com vista à avaliação do sistema de recolha seletiva de resíduos da AMARSUL, que se apresenta no Quadro 3.7, foi feita segundo dois critérios principais. O primeiro é a inclusão dos indicadores já utilizados pela AMARSUL, para proceder à sua análise. O segundo critério baseou-se na escolha dos indicadores de índole técnica, ambiental e económica, cujo cálculo pudesse ser feito através da informação que a AMARSUL detém e disponibilizou para este trabalho e que ao mesmo tempo pudesse dar resposta aos objetivos desta dissertação.

Quadro 3.7: Indicadores selecionados para avaliar o sistema de recolha seletiva da AMARSUL.

Numeração	Nome	Equação
1	Quantidade recolhida por turno (kg turno^{-1})	$\frac{\text{Quantidade total recolhida}}{\text{Número total de turnos realizados}}$
2	Quantidade recolhida por contentor (kg contentor^{-1})	$\frac{\text{Quantidade total recolhida}}{\text{Número total de contentores recolhidos}}$
3	Quantidade recolhida por hora-homem (kg hH^{-1})	$\frac{\text{Quantidade total recolhida}}{\text{Número total de horas-homem despendidas}}$
4	Quantidade recolhida por quilómetro (kg km^{-1})	$\frac{\text{Quantidade total recolhida}}{\text{Número total de quilómetros percorridos}}$
5	Número de contentores recolhidos por turno ($\text{contentor turno}^{-1}$)	$\frac{\text{Número de contentores}}{\text{Número de turnos}}$
6	Utilização de recursos energéticos (l t^{-1})	$\frac{\text{Número de litros gasto}}{\text{Quantidade total recolhida}}$
7	Emissão de gases com efeito de estufa ($\text{kg CO}_2 \text{ t}^{-1}$)	$\frac{\text{Emissões de CO}_2 \text{ das viaturas de recolha de resíduos}}{\text{Resíduos de embalagens recolhidos seletivamente}}$
8	Distância percorrida por tonelada resíduos (km t^{-1})	$\frac{\text{Distância percorrida pelo veículo de recolha}}{\text{Quantidade de resíduos recolhida}}$
9	Eficiência da recolha seletiva ($\text{t km}^{-1} \text{ h}^{-1}$)	$\frac{\text{Quantidade de resíduos recolhidos}}{\text{Quilómetros percorridos} \times \text{Tempo gasto na recolha}}$
10	Densidade de recolha (t h^{-1})	$\frac{\text{Quantidade de resíduos recolhidos}}{\text{Tempo gasto na recolha}}$
11	Produção por habitante (kg hab^{-1})	$\frac{\text{Quantidade de resíduos recolhidos}}{\text{Número de habitantes}}$
12	Custo do combustível (€ ano^{-1})	$\text{Número de litro gasto num ano} \times \text{Preço médio por litro num ano}$

4 Apresentação e discussão dos resultados

4.1 Dados de base para cálculo dos indicadores de avaliação do sistema de recolha seletiva da AMARSUL

No Quadro 4.1, apresentam-se os dados facultados pela AMARSUL, e que serviram de base ao cálculo dos indicadores selecionados.

Quadro 4.1: Dados de base do sistema de recolha seletiva da AMARSUL.

Fileira	Dados	2011	2012	Ano 2013	2014	2015
Papel e Cartão	Quantidade de material recolhido (t)	9657,86	8007,86	7339,46	7249,25	7079,54
Plástico e Metal		5547,24	5072,70	4817,51	4819,99	4720,79
Vidro		8878,17	7795,60	6931,56	6752,27	7043,34
Papel e Cartão	Número de contentores recolhidos	162 363	131 216	114 785	115 299	110 485
Plástico e Metal		158 797	129 548	122 301	126 543	122 294
Vidro		26 264	20 754	14 348	13 342	14 201
Papel e Cartão	Número de turnos	3 118	2 830	2 242	2 096	1 936
Plástico e Metal		3 098	2 810	2 322	2 228	2 097
Vidro		630	552	426	417	425
Papel e Cartão	Quilómetros percorridos (km)	218 231	206 810	169 567	153 686	147 202
Plástico e Metal		278 844	222 313	182 303	184 680	176 608
Vidro		65 962	53 460	49 765	54 056	53 399
Papel e Cartão	Combustível consumido (l)	178 296	162 889	134 844	125 580	116 535
Plástico e Metal		181 955	149 900	143 499	142 476	132 686
Vidro		29 527	28 890	25 625	28 171	29 164
Papel e Cartão	Duração total da recolha (hH)	42 203	28 022	22 858	21 258	19 998
Plástico e Metal		42 049	26 241	22 428	21 135	20 294
Vidro		7 909	6 443	5 333	4 997	5 173

Nas Figuras 4.1 a 4.6, ilustram-se as evoluções anuais dos dados de base para as diferentes fileiras, entre 2011 e 2015.

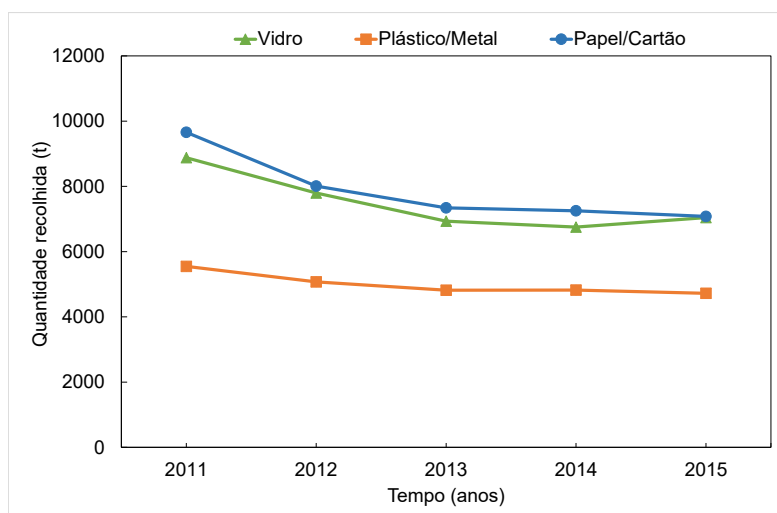


Figura 4.1: Evolução anual da quantidade total recolhida por fileira, entre 2011 e 2015.

No gráfico da Figura 4.1, está representada a evolução anual da quantidade recolhida por fileira entre 2011 e 2015, sendo possível perceber que, devido à crise económica que afetou Portugal nos anos de análise, existiu uma diminuição dos resíduos produzidos. Realce para a redução ocorrida desde o início de 2013 até final de 2015 nas três fileiras, em especial na fileira do papel/cartão com uma diminuição de 12% neste período e na fileira do vidro com uma redução de 10%. No entanto, a fileira do vidro regista um aumento 4,3% na quantidade recolhida entre 2014 e 2015. Em relação à fileira do plástico e metal, esta regista um decréscimo suave das quantidades recolhidas, sendo esse decréscimo de 7% desde o início de 2013 até final de 2015, no entanto, note-se que a partir do ano de 2013, inclusive, as quantidades recolhidas tendem a estabilizar, o que também poderá estar relacionado com a implementação do modelo de previsão do nível de enchimento e dos circuitos dinâmicos.

Em seguida, apresenta-se a Figura 4.2 que representa a evolução anual do número de contentores recolhidos para as três fileiras em estudo.

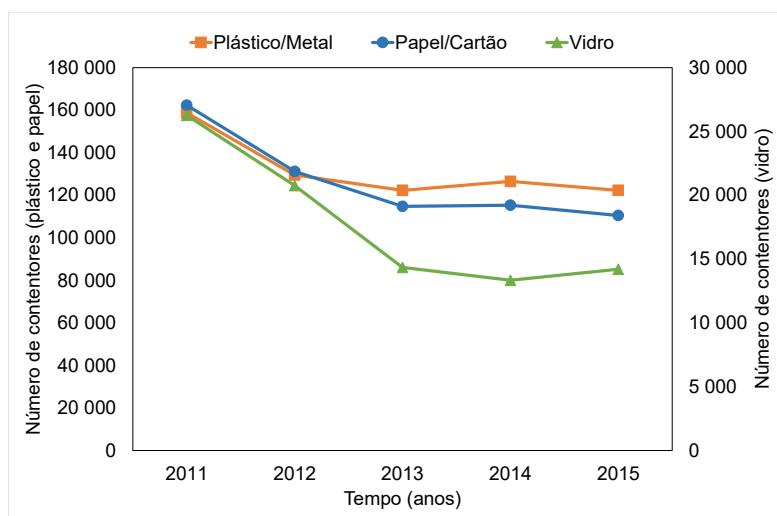


Figura 4.2: Evolução anual do número de contentores recolhidos para as três fileiras em estudo.

Através da análise da Figura 4.2, é possível verificar que na fileira do vidro existiu uma quebra na quantidade de contentores recolhidos de cerca de 46%, desde o ano de 2011, sendo que o maior decréscimo ocorreu no ano de 2013. Na fileira do papel/cartão, o decréscimo foi de 32%, enquanto no plástico/metal a descida foi de 23%, em relação a 2011. Tal decréscimo está associado, à maior otimização da recolha seletiva, através da implementação do modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores, no ano de 2013, uma vez que se recolhem apenas contentores com percentagem de enchimento acima dos 75%, deixam de se recolher os contentores com menores percentagens de enchimento. Comparando os dados da Figura 4.2 com os dados da Figura 4.1, verifica-se que a redução do número de contentores é muito superior, em percentagem, que a redução das quantidades recolhidas, tal facto demonstra o aumento de eficiência do sistema de recolha seletiva de resíduos. No entanto, importa destacar que após implementação do modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores e dos circuitos dinâmicos, o número de contentores recolhidos estabilizou.

Na figura seguinte está representada a evolução anual do número de turnos efetuados nas três fileiras.

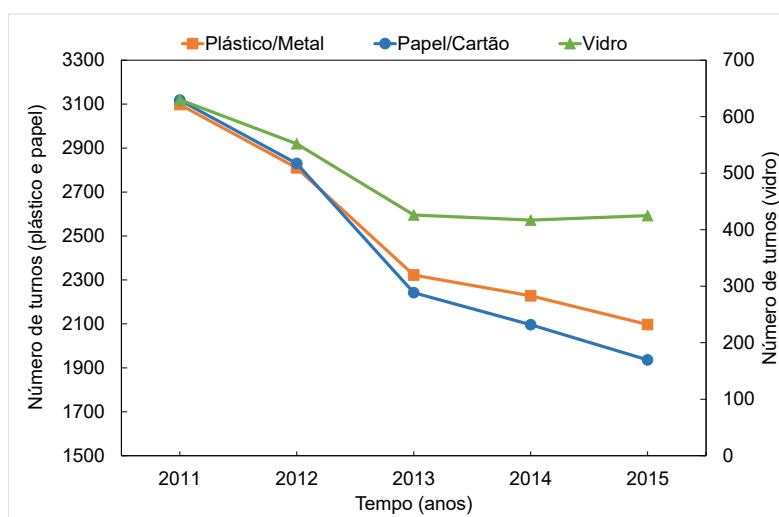


Figura 4.3: Evolução anual do número de turnos efetuados, nas três fileiras, entre 2011 e 2015.

O número de turnos efetuados decresceu entre 2011 e 2015 cerca de 38% na fileira do papel e cartão e cerca de 32% na fileira do plástico e metal, tendo a fileira do vidro registado um decréscimo de 32%. Em resultado da diminuição do número de turnos efetuados, pode afirmar-se que mantendo os recursos humanos por viatura, os custos de pessoal reduziram na mesma proporção que a redução dos turnos efetuados. Tal deve-se também claramente à implementação do modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores e dos circuitos dinâmicos, uma vez que no ano de 2013 existem decréscimos acentuados em todas as fileiras, especialmente nas do plástico/metal e papel/cartão, que depois mantêm essa tendência de decréscimo até 2015. Destaque para a quebra mais acentuada da fileira do papel/cartão no ano de 2013. Como as quantidades recolhidas decresceram entre 2011 e 2015, é natural que o número de turnos também decresça, no entanto, e comparativamente, existe um maior decréscimo do número de turnos do

que das quantidades recolhidas, o que reflete um aumento de eficiência nas três fileiras, no período em análise.

A figura seguinte representa a evolução anual dos quilómetros percorridos nas três fileiras, entre 2011 e 2015.

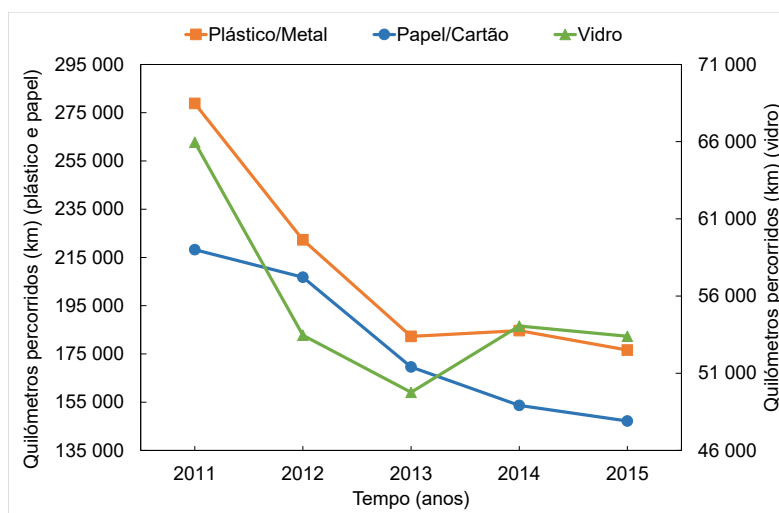


Figura 4.4: Evolução anual dos quilómetros percorridos para as três fileiras, entre 2011 e 2015.

No que se refere à evolução anual dos quilómetros percorridos na recolha seletiva, entre 2011 e 2015, denota-se que as fileiras do papel/cartão e plástico/metal sofreram quebras acentuadas após 2011, sendo estas respetivamente de 33% e 37%, em cinco anos. A fileira do papel/cartão registou um decréscimo de 29% desde o início de 2013 até final de 2015, em três anos. Quanto à fileira do vidro teve uma quebra em 2012 e 2013, porém e em relação a 2013, os anos de 2014 e 2015 registaram um aumento da distância percorrida pelas viaturas de recolha. Este aumento está associado à estabilização e aumento no caso da fileira do vidro, das quantidades totais recolhidas, nos anos de 2014 e 2015, respetivamente (ver Figura 4.1) e ao aumento do número de contentores recolhidos (ver Figura 4.2), bem como do número de cargas por turno que aumentou 24% desde 2011. No caso das fileiras do plástico/metal e do papel/cartão existiu um decréscimo maior dos quilómetros percorridos, do que das quantidades recolhidas, o que será certamente o efeito do modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores, resultando num aumento de eficiência.

Destaca-se também que a evolução anual da fileira do papel/cartão deveria ser idêntica à do plástico/metal, porém, devido a um incêndio ocorrido no ecoparque de Palmela em Abril de 2012, as viaturas deste circuito passaram a descarregar nas instalações do ecoparque do Seixal até Agosto de 2013, a partir desse momento passaram a descarregar nas instalações da A.S. Simões no Seixal.

De seguida, apresenta-se a evolução anual do consumo de combustível para as três fileiras.

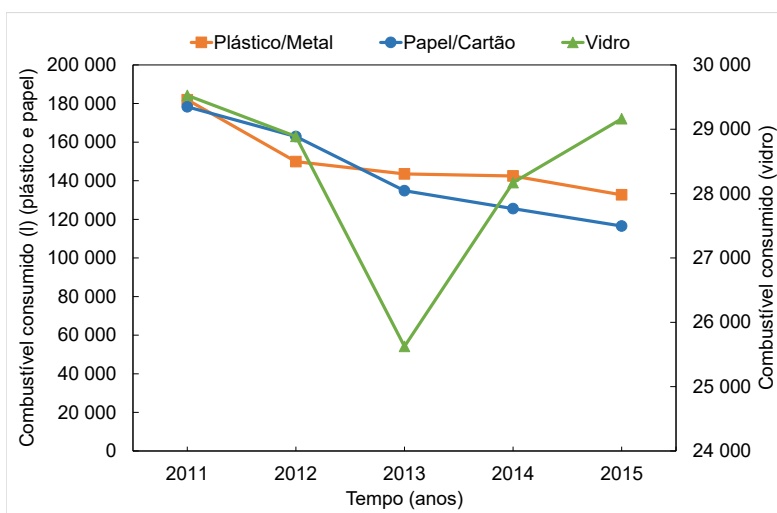


Figura 4.5: Evolução anual do consumo de combustível para as três fileiras entre 2011 e 2015.

A Figura 4.5 ilustra a evolução anual do consumo de combustível para as três fileiras entre 2011 e 2015, sendo possível observar que a fileira do papel/cartão tem uma quebra significativa desde o início de 2013 até final de 2015 de 29%, o que conjugado ao facto de que se realizaram menos quilómetros e menos turnos, demonstra que a eficiência de recolha aumentou nesta fileira. A fileira do plástico sofre uma diminuição do combustível consumido desde o início de 2013 até final de 2015 de 11%, o que conjugado ao facto de que a quantidade de quilómetros percorridos diminuiu, tal como o número de turnos, sendo que estes decréscimos são maiores do que o decréscimo das quantidades recolhidas, origina uma maior eficiência também nesta fileira. Em relação à fileira do vidro, o consumo de combustível registou um decréscimo acentuado em 2013, voltando a subir para níveis próximos de 2011 em 2015. Note-se que este aumento do consumo em 2015 se verifica ao mesmo tempo que ocorreu uma redução de 657 quilómetros percorridos (ver Figura 4.4). Esta aparente contradição explica-se, pelo facto de que existiu um aumento do número de contentores recolhidos, com mais 859 contentores recolhidos em 2015 relativamente a 2014, uma vez que o consumo associado à elevação dos contentores é considerável. Realce-se ainda que, no ano de 2015, ao mesmo tempo que se reduziram o número de quilómetros, aumentaram as quantidades totais recolhidas de vidro e o número de contentores recolhidos, resultando assim num aumento do combustível consumido e do número de turnos (ver Figuras anteriores).

A Figura 4.6 ilustra a evolução anual da duração total dos turnos efetuados nas três fileiras.

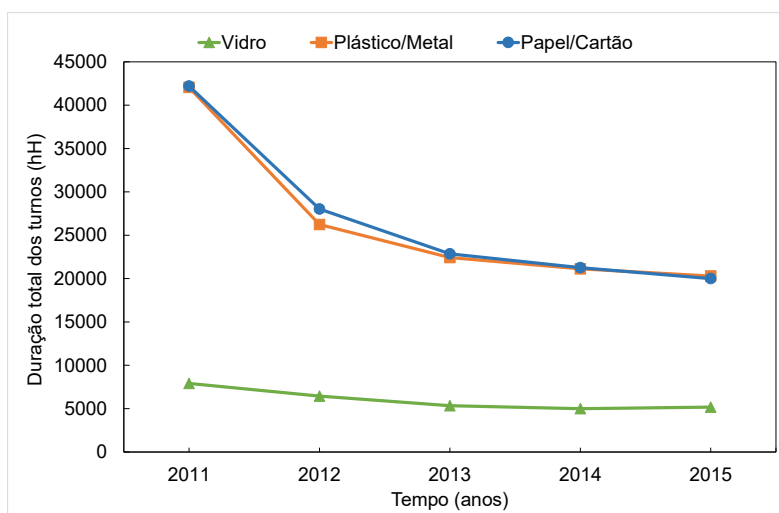


Figura 4.6: Evolução anual da duração total dos turnos efetuados nas diferentes fileiras, entre 2011 e 2015.

Através da observação do gráfico da Figura 4.6, é possível perceber que nos anos de 2012 e 2013 as fileiras do plástico/metal e do papel/cartão sofreram quebras na duração total da recolha, sendo que em ambas as fileiras se mantém essa tendência de decréscimo até 2015. No caso da fileira do vidro a duração também sofreu uma queda importante em 2012 e 2013, registando um aumento no ano de 2015.

Desde o início de 2013 até final de 2015 a fileira do papel/cartão sofreu uma queda de 29%, a do plástico e metal sofreu uma queda de 23% e a do vidro uma queda de 20% na duração total da recolha, o que significa que mantendo-se os turnos sempre com 8 horas, existiu uma diminuição do número de turnos com a entrada do modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores e dos circuitos dinâmicos (ver Figura 4.3). Interessa também realçar o fato de que a partir de 2012 houve uma diminuição do número de funcionários afetos à recolha seletiva, que foram alocados a outras atividades da AMARSUL, o que também contribuiu para a redução das horas-homem.

4.2 Embalagens de plástico e metal

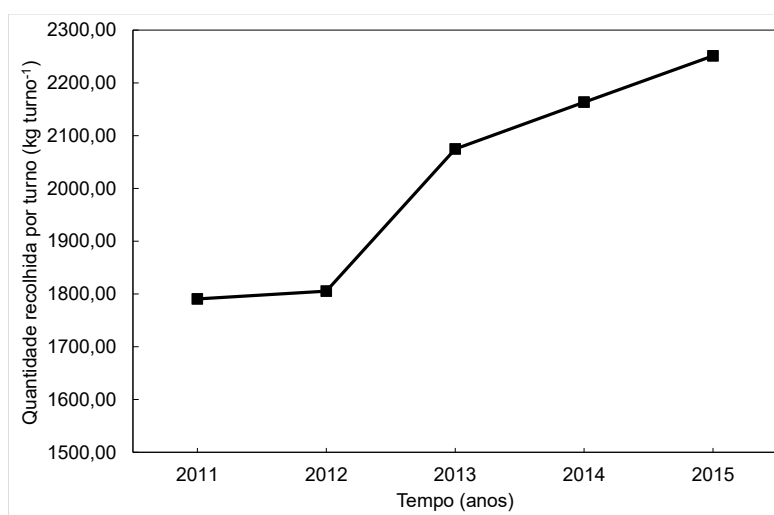
A partir dos dados fornecidos pela AMARSUL foi possível proceder ao cálculo dos indicadores selecionados.

No Quadro 4.2 apresentam-se os resultados obtidos entre os anos de 2011 a 2015 referentes à fileira das embalagens de plástico e metal recolhidas em ecoponto:

Quadro 4.2: Valores calculados dos indicadores seleccionados no período de 2011 a 2015.

Indicador	Ano				
	2011	2012	2013	2014	2015
Quantidade recolhida por turno (kg turno^{-1})	1790,59	1805,23	2074,72	2163,37	2251,21
Quantidade recolhida por contentor (kg contentor^{-1})	34,93	39,16	39,39	38,09	38,60
Quantidade recolhida por hora-homem (kg hH^{-1})	131,92	193,31	214,80	228,06	232,62
Quantidade recolhida por quilómetro (kg km^{-1})	19,89	22,82	26,43	26,10	26,73
Número de contentores recolhidos por turno ($\text{contentores turno}^{-1}$)	51	46	53	57	58
Utilização de recursos energéticos (l t^{-1})	32,80	29,55	29,79	29,56	28,11
Emissão de gases com efeito de estufa ($\text{kg CO}_2 \text{ t}^{-1}$)	86,88	78,27	78,90	78,30	74,45
Distância percorrida por tonelada resíduos (km t^{-1})	50,27	43,83	37,84	38,32	37,41
Eficiência recolha seletiva ($\text{t km}^{-1} \text{ h}^{-1}$)	8,03E-07	1,02E-06	1,42E-06	1,46E-06	1,59E-06
Densidade de recolha (t h^{-1})	0,22	0,23	0,26	0,27	0,28
Produção por habitante (kg hab^{-1})	7,16	6,55	6,22	6,22	6,09
Custo do combustível (€)	249 278	217 355	199 464	185 219	160 550

Nas Figuras 4.7 a 4.18 ilustra-se a evolução anual dos indicadores seleccionados, referente ao período entre 2011 e 2015 para a fileira do plástico e metal.

**Figura 4.7:** Evolução anual da quantidade recolhida por turno.

Através da observação da Figura 4.7 é possível notar que a quantidade recolhida por turno, sendo que um turno equivale a 8 horas de trabalho, e pode contemplar um ou mais serviços, aumenta bastante no ano de 2013, cujo aumento é de 13% face a 2012. Desde 2011, a quantidade recolhida por turno aumentou 26%. Realce para o facto de que desde 2011 se regista uma tendência crescente das quantidades recolhidas por turno. Uma vez que a quantidade total recolhida de plástico e metal não varia mais do que 7% desde o início de 2013 até final de 2015, e existe uma tendência de decréscimo do número de turnos entre 2011 e 2015, então pode-se afirmar que nesta fileira existiu um aumento da eficiência, que se deve à implementação do modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores. Outro fato que poderá refletir o aumento de eficiência é que nos anos de 2014 e 2015, após a introdução do modelo de previsão

do nível de enchimento dos contentores, a quantidade total recolhida diminuiu apenas 2%.

Em seguida apresenta-se a evolução anual da quantidade recolhida por contentor entre 2011 e 2015.

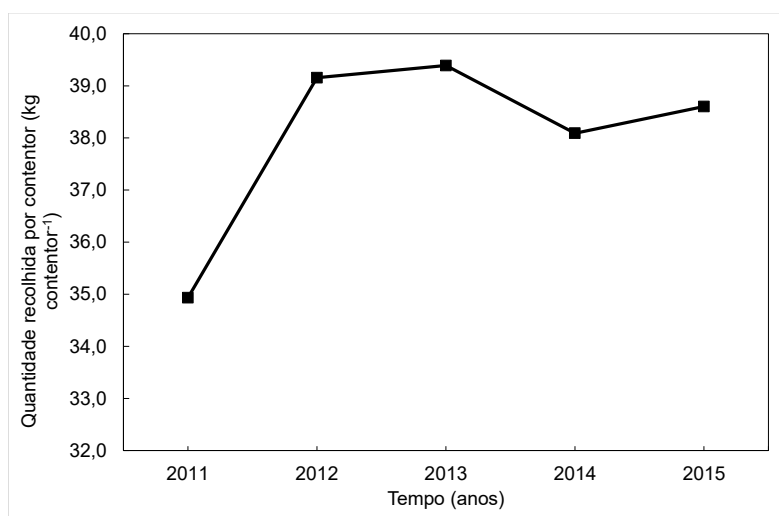


Figura 4.8: Evolução anual da quantidade recolhida por contentor.

A partir da Figura 4.8 é possível perceber que a quantidade recolhida por contentor tem em geral aumentado desde 2011. O ano de 2012, toma elevada preponderância, uma vez que registou um aumento de 11% na quantidade recolhida por contentor em relação ao ano anterior. Torna-se também interessante perceber que existe um decréscimo desta quantidade em 2014, o que poderá ter ficado a dever-se ao facto de que a AMARSUL continua a reforçar a quantidade de ecopontos ou até mesmo a colocar novos ecopontos, tal medida permite diminuir a taxa de transbordo e aumentar a quantidade recolhida em cada local, no entanto, esta medida faz com que a quantidade recolhida por contentor sofra uma diminuição. Porém, em 2015 voltou a existir um aumento da quantidade recolhida por contentor. No geral, existiu um crescimento de 11% em relação ao ano base de 2011. É possível perceber que as variações desde 2012 não são muito grandes, e que variam entre os 39,39 e os 38,60 quilogramas por contentor, pelo que se pode perceber que existe uma tendência de estabilização deste indicador, que pode ter ficado a dever-se à introdução do modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores.

De seguida apresenta-se a evolução anual da quantidade recolhida por hora-homem entre 2011 e 2015.

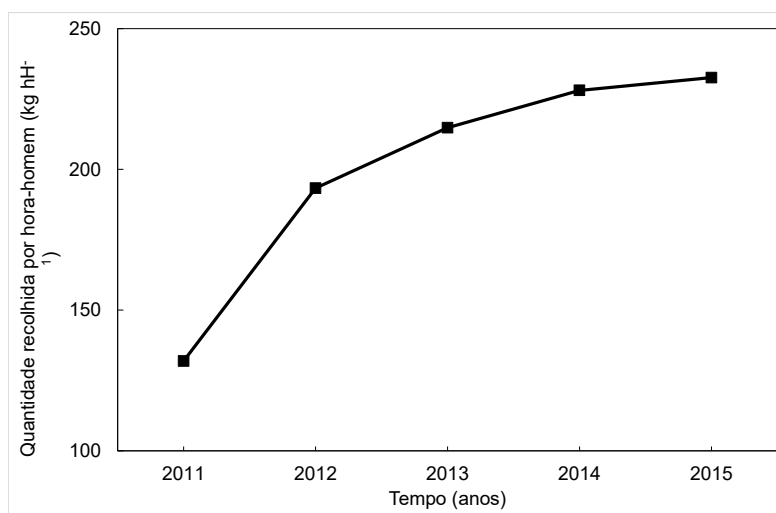


Figura 4.9: Evolução anual da quantidade recolhida por hora-homem.

A Figura 4.9 revela um comportamento crescente da quantidade recolhida por hora-homem, sendo que tal como já foi referido, a recolha é feita por um motorista e um auxiliar, ou apenas por um motorista. Realce para o facto de que, desde o início de 2013 até final de 2015, este indicador cresceu 20%, o que denota bem que apesar do abaixamento das quantidades recolhidas devido à crise económica, a eficiência do sistema aumentou, já que comparativamente em percentagem, o crescimento deste indicador é superior ao decréscimo das quantidades recolhidas. Assim, gastaram-se menos horas para recolher quantidades idênticas de resíduos, já que em 2011 se registaram 42049 horas-homem e em 2015 se registaram apenas 20294 horas-homem, existindo assim um decréscimo de mais de 50% do tempo despendido, devendo-se este fato essencialmente à redução do número de turnos e à diminuição de funcionários afetos à recolha no ano de 2012, pois algumas viaturas passaram a funcionar apenas com o motorista, sem auxiliar, sendo que a diminuição de horas-homem registada, desde o início de 2013 até final de 2015, é de 23%, o que está também relacionado com a implementação do modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores em março de 2013. Este indicador reflete bem do aumento continuado da eficiência do serviço de recolha na AMARSUL durante os últimos 5 anos.

Apresenta-se de seguida a quantidade recolhida por quilómetro entre 2011 e 2015.

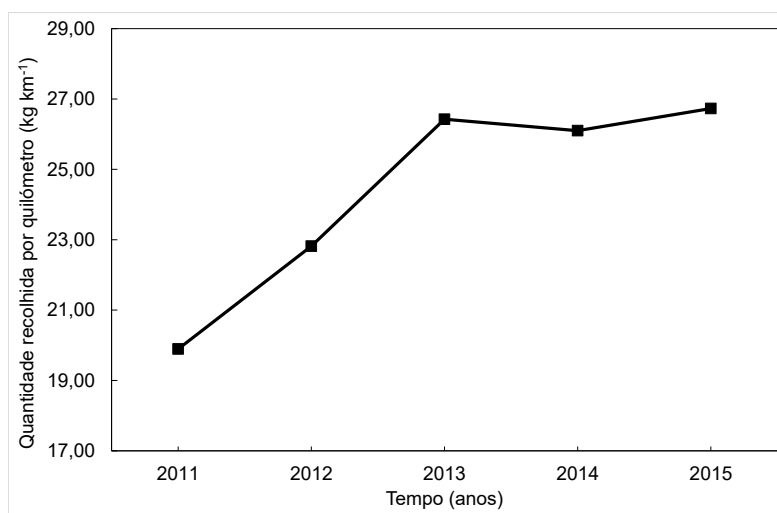


Figura 4.10: Evolução anual da quantidade recolhida por quilómetro percorrido.

No que se refere à quantidade recolhida por quilómetro percorrido, é possível observar que tem existido uma evolução bastante positiva, tendo aumentado 35% desde 2011. A subida mais acentuada ocorreu nos anos de 2012 e 2013, sendo que no ano de 2015 se atingiu um máximo com cerca de 27 quilogramas recolhidos por quilómetro percorrido. Este indicador parece mostrar a mesma tendência que os anteriores, uma vez que manifesta um crescimento superior ao decréscimo da quantidade total recolhida entre 2012 e 2015, sendo ainda de destacar que a distância percorrida também sofreu um decréscimo importante neste período. Assim, é possível perceber que o sistema está melhor, já que recolhe maior quantidade percorrendo um menor número de quilómetros.

De seguida representa-se a evolução anual do número de contentores recolhidos por turno entre 2011 e 2015.

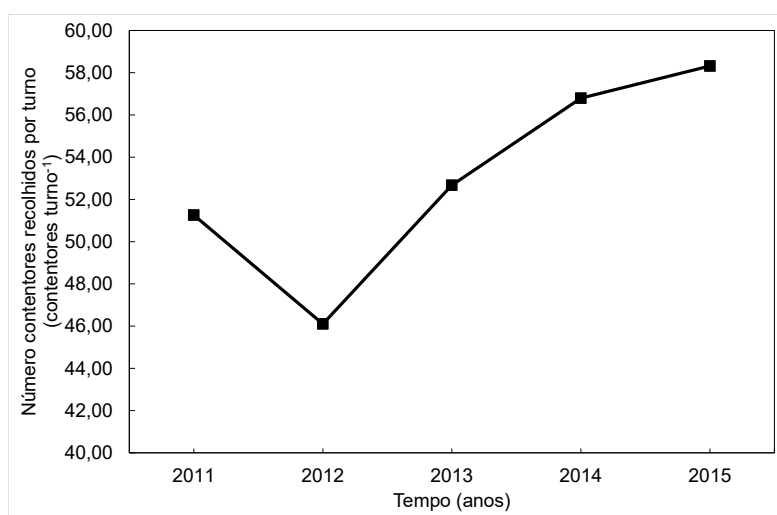


Figura 4.11: Evolução anual do número de contentores recolhidos por turno.

Através da Figura 4.11 é possível entender a evolução anual do número de contentores recolhidos por turno, sendo claramente visível o aumento deste indicador em 2013, registando

um acréscimo de 26%, em três anos de 2013 a 2015. O aumento deste indicador associado à estabilidade da quantidade por contentor (ver Figura 4.8), explica o aumento da quantidade recolhida por turno (ver Figura 4.7). Em geral, o número de contentores recolhidos por turno cresceu 14% desde 2011.

Apresenta-se de seguida a evolução anual entre 2011 e 2015 do indicador utilização de recursos energéticos.

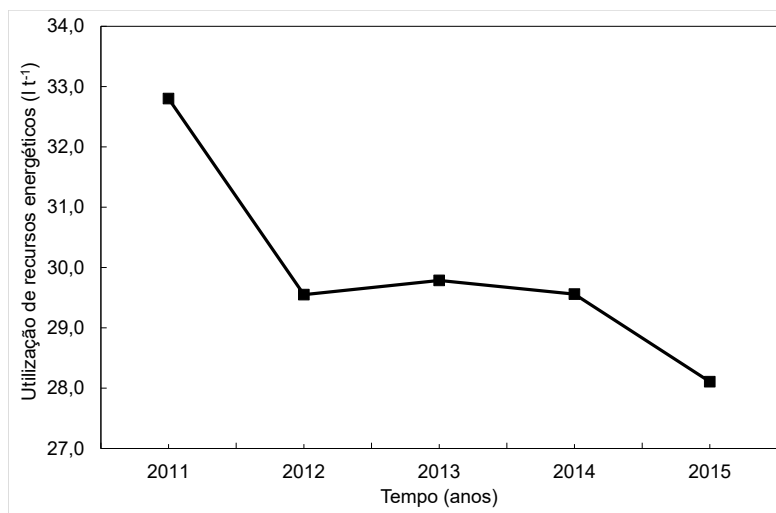


Figura 4.12: Evolução anual da utilização de recursos energéticos.

Na Figura 4.12 é possível verificar uma tendência de decréscimo do número de litros necessários para recolher uma tonelada de resíduos de embalagens de plástico e metal, existindo um decréscimo do consumo de gasóleo por tonelada recolhida em aproximadamente 14% desde 2011, sendo que, desde o início de 2013 até final de 2015, o consumo de combustível por tonelada de resíduos recolhidos, diminuiu 5%. Importa realçar que o maior decréscimo se registou no ano de 2012. Uma vez que as quantidades de resíduos recolhidos e o número de quilómetros percorridos diminuíram, torna-se natural que este indicador também sofra um decréscimo, no entanto, o fato de se recolherem mais contentores entre 2012-2014, faz com que seja necessário gastar mais combustível a elevar esses contentores, o que resulta numa estabilização do consumo por tonelada recolhida nesse período. Sendo que o decréscimo importante de 5% registado em 2015, em relação a 2014, possa ser resultado da maior eficiência do sistema devido ao modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores. Seguidamente ilustra-se a evolução anual das emissões de gases com efeito de estufa entre 2011 e 2015.

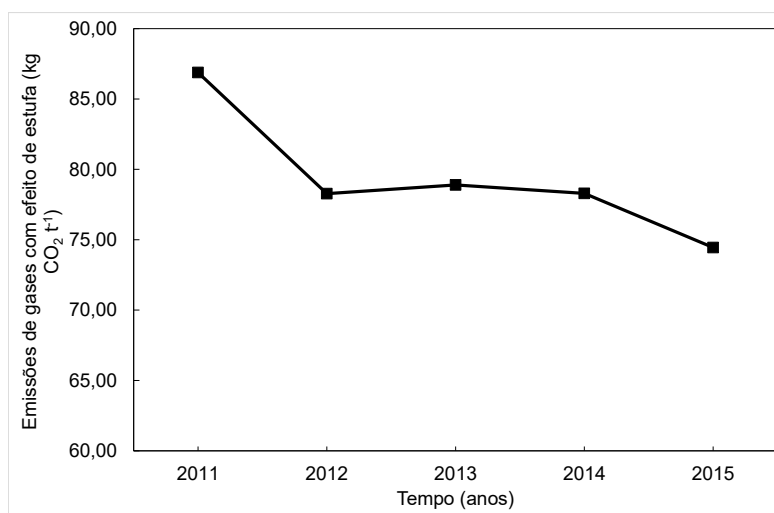


Figura 4.13: Evolução anual das emissões de gases com efeito de estufa.

No gráfico da Figura 4.13 está representada a evolução anual das emissões de gases com efeito de estufa, onde se denota um decréscimo nas emissões de CO₂ entre 2012 e 2015, sendo que no total as emissões desceram 14,3% entre 2011 e 2015. Desde o início de 2013 até final de 2015, as emissões registaram um decréscimo de 5%. Segundo [LNEC e ERSAR \(2013\)](#), os valores de referência para as áreas de intervenção predominantemente urbanas e viaturas de recolha seletiva, como é o caso da AMARSUL, consideram que para valores acima de 50 kg CO₂ t⁻¹, como é o caso do serviço da AMARSUL, a qualidade do serviço é insatisfatória. Apesar da maior eficiência do sistema, com a introdução do modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores, a quantidade recolhida ainda é demasiado baixa em relação ao consumo das viaturas, para que as emissões estejam dentro de parâmetros mais aceitáveis.

Em seguida está representada a evolução anual da distância percorrida por tonelada de resíduos recolhidos, entre 2011 e 2015.

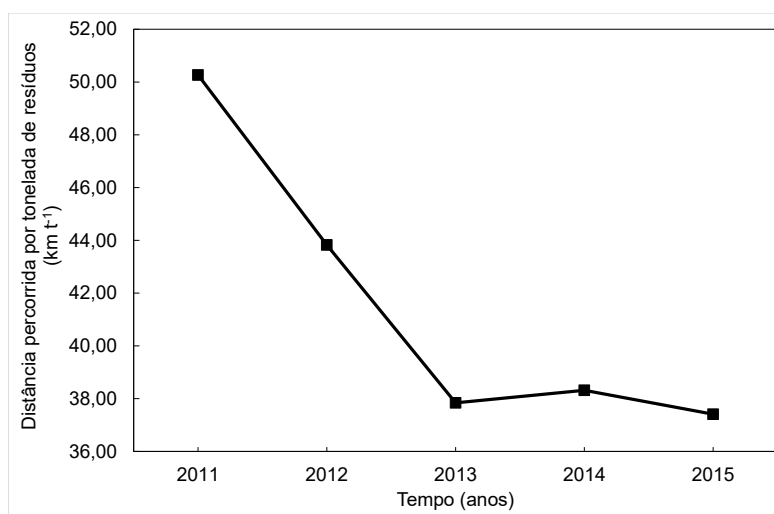


Figura 4.14: Evolução anual da distância percorrida por tonelada de resíduos recolhidos.

A Figura 4.14 ilustra a evolução anual da distância percorrida pela viatura de recolha para

proceder à recolha de uma tonelada de resíduos de embalagens de plástico e metal, onde é possível verificar, que em geral tem ocorrido uma diminuição desta distância, principalmente em 2012 e 2013, ano de introdução do modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores, sendo que desde o início de 2013 até final de 2015 a distância baixou 15%. Em relação ao ano base de 2011, a diminuição foi de 26%. Importa realçar que nos últimos três anos a distância média percorrida para recolher uma tonelada de resíduos foi de aproximadamente 38 quilómetros. Interessa também realçar que de 2013 a 2015 as quantidades recolhidas mantiveram-se praticamente constantes, tal como número de quilómetros necessários para as recolher, podendo este fato estar relacionado com a implementação do modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores.

Na Figura 4.15 que a seguir se apresenta, está ilustrada a evolução anual da eficiência de recolha seletiva, entre 2011 e 2015.

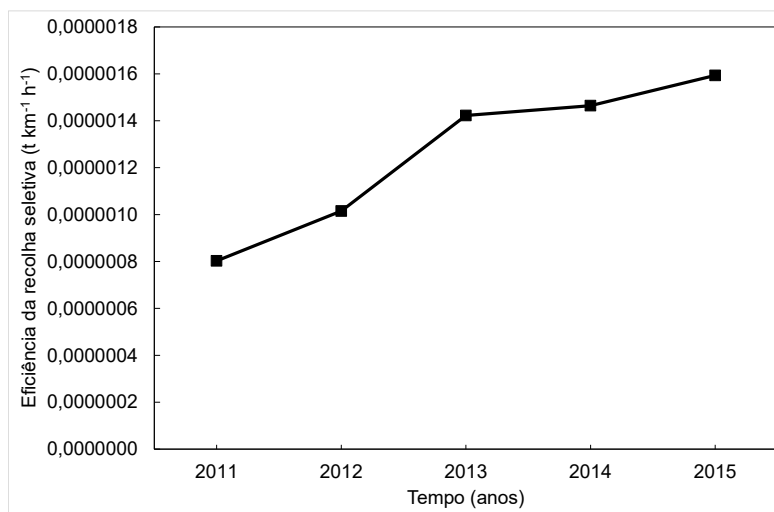


Figura 4.15: Evolução anual da eficiência de recolha seletiva.

Em relação à evolução anual da eficiência da recolha de embalagens de plástico e metal, medida em toneladas recolhidas por quilómetro percorrido e por hora despendida no processo de recolha, é possível verificar um aumento mais acentuado no ano de 2013, mantendo-se a tendência de crescimento nos anos de 2014 e 2015, mas a um ritmo menor. À semelhança de alguns indicadores anteriores, denota-se também que no ano de 2015 a tendência é positiva com um aumento da eficiência. Em geral a eficiência aumentou 99% desde 2011. Talvez o facto de que em 2013 se implementou o modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores possa ter levado a que nesse ano se tenha registado o maior aumento anual da eficiência, sendo de destacar que desde o início de 2013 até final de 2015 a eficiência cresceu 57%, principalmente devido aos fatores já enunciados em indicadores anteriores.

A Figura 4.16 que se apresenta de seguida, representa a evolução anual da densidade de recolha entre 2011 e 2015.

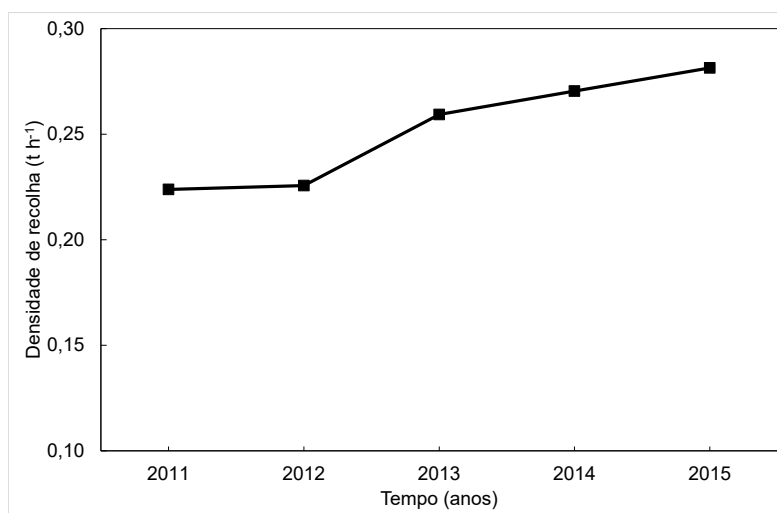


Figura 4.16: Evolução anual da densidade de recolha.

A evolução anual da densidade de recolha, representada na Figura 4.16, ilustra um percurso crescente desde 2011, sendo que tendo como base esse ano, cresceu 26%. Desde o início de 2013 até final de 2015, período onde esteve ativo o modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores, existiu um crescimento de 25%, atingindo-se mesmo um máximo de toneladas recolhidas por hora no ano de 2015 com 0,28 toneladas por hora, sendo que o maior aumento anual se registou no ano de introdução do modelo de previsão de enchimento dos contentores, em 2013. Note-se que como seria de esperar a evolução deste indicador é idêntica à do indicador “Quantidade recolhida por turno”, em que também se regista uma evolução crescente com as mesmas variações, em percentagem.

Em seguida, apresenta-se a evolução anual da produção por habitante, entre 2011 e 2015.

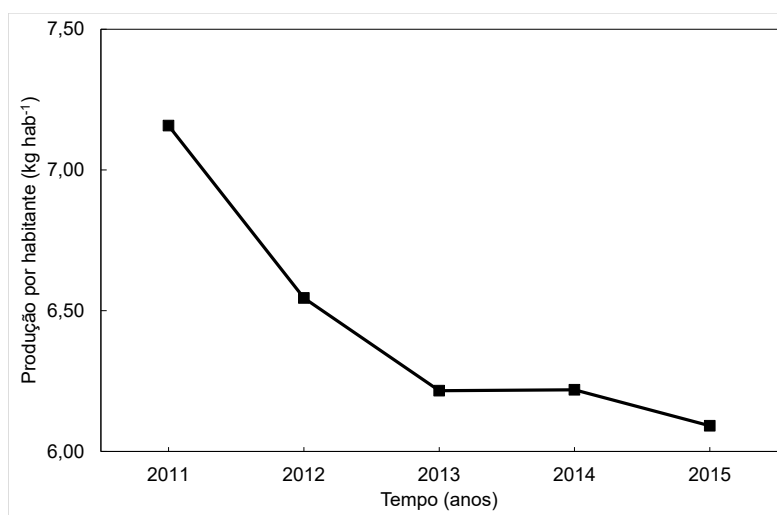


Figura 4.17: Evolução anual da produção por habitante.

Na Figura 4.17 ilustra-se a evolução anual da produção por habitante, podendo observar-se que nos cinco anos analisados a maior produção se registou no ano de 2011, antes da assistência financeira a Portugal, protagonizada pela denominada troika, e da crise económica, com o valor

de 7,16 quilogramas por habitante. Denota-se que existiu um decréscimo importante entre 2011 e 2013, sendo que após a entrada do modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores em 2013, a queda da produção de resíduos foi interrompida em 2014, mas voltou a verificar-se, porém com menor intensidade no ano de 2015. Como tal, não é possível retirar conclusões sobre a possível influência da implementação do modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores neste indicador. Existiram certamente fatores sociológicos, que estarão também associados à evolução deste indicador. Importa ainda referir que a produção por habitante de resíduos de plástico e metal registou uma quebra de 15%, tendo como base 2011.

Seguidamente apresenta-se a evolução anual do custo de combustível, entre 2011 e 2015.

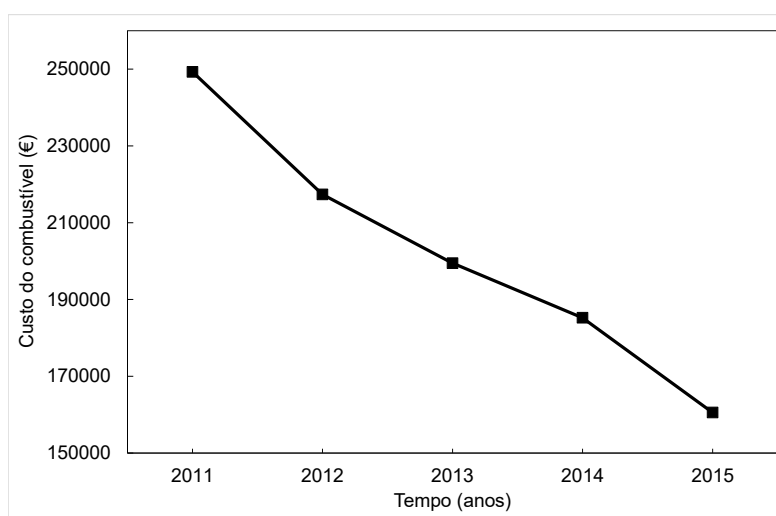


Figura 4.18: Evolução anual do custo do combustível.

A Figura 4.18 representa a evolução anual da despesa anual com combustível que a AMAR-SUL teve ao longo dos últimos anos na fileira do plástico/metal. Como é possível observar, a tendência tem sido bastante favorável com um decréscimo da despesa com combustível, sendo importante realçar que esta descida se deve à redução dos quilómetros percorridos para a recolha de embalagens de plástico e metal, no valor de 45.705 km, desde a implementação do modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores e consequentemente no número de litros que a AMARSUL tem utilizado nas suas viaturas, associado também a um decréscimo do custo por litro do combustível utilizado, no caso o gasóleo. No geral a despesa anual desceu 36% desde o ano de 2011.

Os preços médios anuais foram adquiridos na base de dados da PORDATA, para gasóleo rodoviário, sendo de 1,37 € em 2011, 1,45 € em 2012, 1,39 € em 2013, 1,30 € em 2014 e 1,21 € em 2015.

De um modo geral é possível afirmar que existiu uma evolução positiva dos indicadores utilizados na avaliação deste sistema de recolha de resíduos de embalagens de plástico e metal. Realçam-se os indicadores “Quantidade recolhida por turno”, “Quantidade recolhida por quilómetro”, “Utilização de recursos energéticos”, “Emissão de gases com efeito de estufa”, “Distância percorrida por tonelada de resíduos”, “Eficiência da recolha seletiva” e “Custo do combustível”,

como aqueles onde a evolução foi maior e mais positiva. Importa ainda realçar que o ano de 2015, parece ser um ano bastante importante, uma vez que a maioria dos indicadores, indicam neste ano uma tendência favorável de melhoria do sistema. No geral o sistema aumentou significativamente a sua eficiência, pois assim o indicam diversos indicadores citados anteriormente, no entanto o sistema ainda pode sofrer melhorias, como no caso do indicador “Número de contentores recolhido por turno” e “Quantidade recolhida por contentor”.

4.3 Embalagens de papel e cartão

No Quadro 4.3 apresentam-se os resultados dos cálculos dos indicadores selecionados, para os anos de 2011 a 2015 referentes a embalagens de papel e cartão recolhidas em ecoponto.

Quadro 4.3: Valores calculados dos indicadores selecionados no período de 2011 a 2015.

Indicador	Ano				
	2011	2012	2013	2014	2015
Quantidade recolhida por turno (kg turno ⁻¹)	3097,45	2829,63	3273,62	3458,61	3656,79
Quantidade recolhida por contentor (kg contentor ⁻¹)	59,48	61,03	63,94	62,87	64,08
Quantidade recolhida por hora-homem (kg hH ⁻¹)	228,84	285,77	321,09	341,02	354,00
Quantidade recolhida por quilómetro (kg km ⁻¹)	44,26	38,72	43,28	47,17	48,09
Número de contentores recolhidos por turno (contentores turno ⁻¹)	52	46	51	55	57
Utilização de recursos energéticos (l t ⁻¹)	18,46	20,34	18,37	17,32	16,46
Emissão de gases com efeito de estufa (kg CO ₂ t ⁻¹)	48,90	53,88	48,66	45,88	43,60
Distância percorrida por tonelada resíduos (km t ⁻¹)	22,60	25,83	23,10	21,20	20,79
Eficiência recolha seletiva (t km ⁻¹ h ⁻¹)	1,77E-06	1,71E-06	2,41E-06	2,81E-06	3,11E-06
Densidade de recolha (t h ⁻¹)	0,39	0,35	0,41	0,43	0,46
Produção por habitante (kg hab ⁻¹)	12,46	10,33	9,47	9,35	9,13
Custo do combustível (€)	244 266	236 189	187 433	163 254	141 007

Nas Figuras 4.19 a 4.30 apresenta-se a evolução anual dos indicadores selecionados, referente ao período entre 2011 e 2015 para a fileira do papel e cartão.

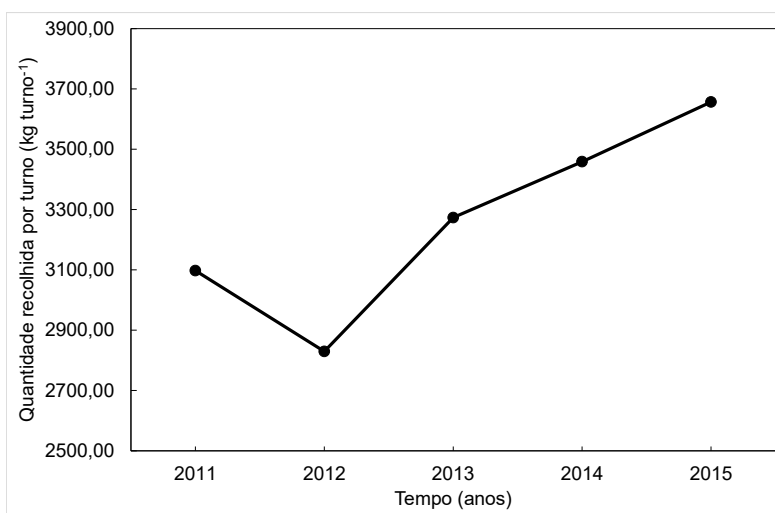


Figura 4.19: Evolução anual da quantidade recolhida por turno.

A evolução anual da quantidade recolhida por turno, ilustrada na Figura 4.19, demonstra que entre o início de 2013 até final de 2015, em três anos, existiu um acréscimo de 29% na quantidade recolhida por turno, atingindo-se no ano de 2015 um máximo com 3657 quilogramas por turno. Considerando que neste período a quantidade total recolhida decresceu 12% nesta fileira e que quantidade recolhida por turno aumentou 29%, é justo dizer que existiu um claro aumento de eficiência nos últimos três anos, uma vez que existiu também uma diminuição do número turnos, fazendo aumentar os valores deste indicador nesse período. Em 2012 verificou-se um decréscimo significativo deste indicador, pelo que nos últimos cinco anos (2011-2015), este indicador cresceu 18%. O maior aumento anual foi no ano de 2013, no mesmo ano em que se inverteu a tendência decrescente deste indicador. Este fato é o resultado da implementação do modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores, a partir de março de 2013.

Em seguida, apresenta-se a Figura 4.20 com a evolução anual da quantidade recolhida por contentor, entre 2011 e 2015.

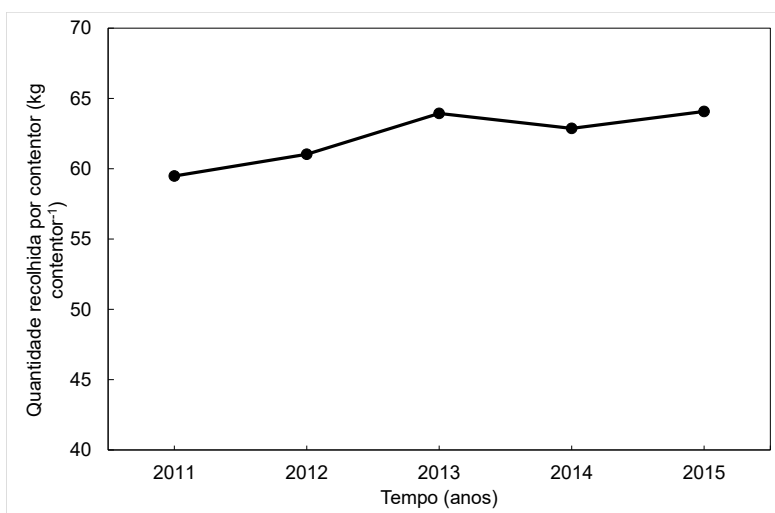


Figura 4.20: Evolução anual da quantidade recolhida por contentor.

No gráfico da Figura 4.20, referente à evolução anual da quantidade recolhida por contentor, é possível observar uma tendência crescente do número de quilogramas recolhidos por contentor, principalmente no ano de 2012 e 2013, sendo que no ano de 2014 existe um decréscimo dessa quantidade em 1 quilograma por contentor, que volta a subir no ano de 2015 para os 64 quilogramas por contentor recolhido, tal como já foi referido a diminuição em 2014, pode dever-se ao reforço de contentores ou colocação de novos contentores pela AMARSUL. De um modo geral, a quantidade recolhida por contentor aumentou em cerca de 8% desde 2011. Este crescimento, significa que os contentores recolhidos estão mais cheios no momento da recolha, o que revela também o efeito da implementação do modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores, já que desde o início de 2013 até final de 2015, este indicador cresceu 5%.

De seguida representa-se a evolução anual da quantidade recolhida por hora-homem, entre 2011 e 2015.

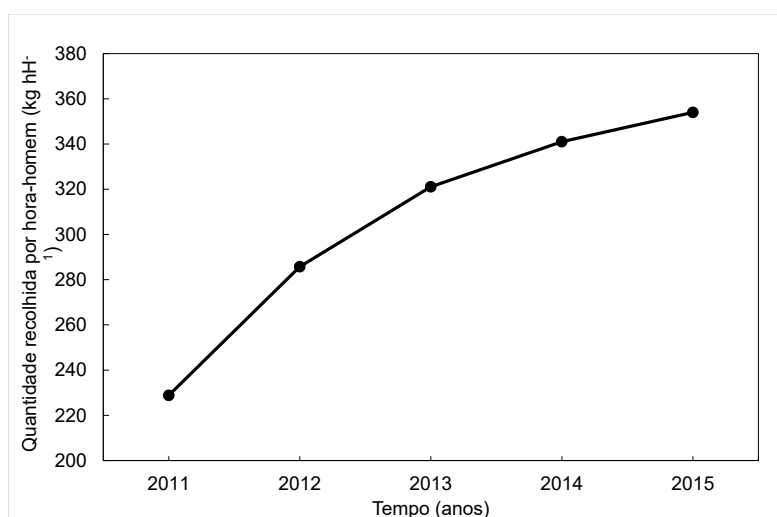


Figura 4.21: Evolução anual da quantidade recolhida por hora-homem.

No que se refere à Figura 4.21 é possível observar uma tendência crescente desde 2011, da quantidade recolhida por hora-homem, como tal apesar de se ter verificado a redução da quantidade total recolhida no período em análise, a produtividade aumentou. Desde o início de 2013 até final de 2015 este indicador sofreu um aumento de 24%, o que é bastante significativo e superior em percentagem, à diminuição das quantidades recolhidas, que nesse mesmo período foi de 12%. Importa também destacar, que como a quantidade recolhida por contentor também sofreu um aumento entre 2012 e 2015, isto significa que os contentores estão mais cheios no momento da recolha, como tal a quantidade recolhida por hora-homem aumenta, aumentando a produtividade e eficiência do sistema de recolha desta fileira. Por outro lado, a partir de 2012 a AMARSUL procedeu a uma redução do número de funcionário afetos à recolha seletiva, o que poderá ter originado um grande aumento, nesse ano, deste indicador. Contudo nos anos seguintes este indicador continuou a aumentar, resultado da implementação do modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores. Em geral, e tendo como base o ano de 2011, este indicador aumentou 55%.

Na Figura 4.22 ilustra-se a evolução anual da quantidade recolhida por quilómetro, entre 2011 e 2015.

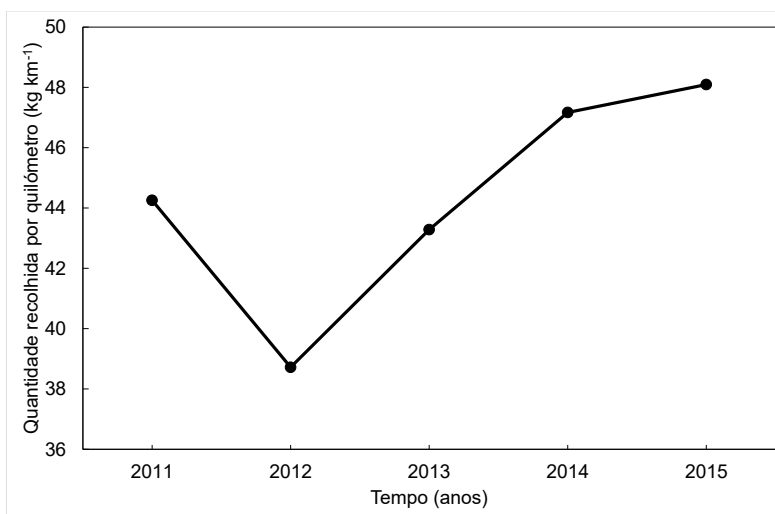


Figura 4.22: Evolução anual da quantidade recolhida por quilómetro percorrido.

A Figura 4.22 representa a evolução anual da quantidade recolhida por quilómetro percorrido pelas viaturas de recolha de resíduos de embalagens de papel e cartão, nela é possível observar uma quebra na quantidade recolhida por quilómetro no ano de 2012, tendo decrescido cerca de 13% em relação a 2011, uma vez que em 2012 a quantidade total recolhida diminuiu significativamente e o número de quilómetros percorridos pelas viaturas de recolha diminuiu ligeiramente, em relação ao ano de 2011. No entanto, no ano de introdução do modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores, em 2013, houve um grande crescimento deste indicador, que tem acumulado uma tendência positiva desde esse ano, registando-se um crescimento de cerca de 25% desde o início de 2013 até final de 2015. Este indicador reflete o aumento de eficiência referido anteriormente, devido ao modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores. Assim, a quantidade recolhida por quilómetro aumenta, já que apesar da quantidade recolhida por ano ter diminuído significativamente, os quilómetros percorridos acabaram por diminuir mais, comparativamente em percentagem, que as quantidades recolhidas, o que demonstra o aumento de eficiência desde 2012. No total, o indicador cresceu cerca de 9% em relação ao ano de 2011.

De seguida, apresenta-se a evolução anual do número de contentores recolhidos por turno, entre 2011 e 2015.

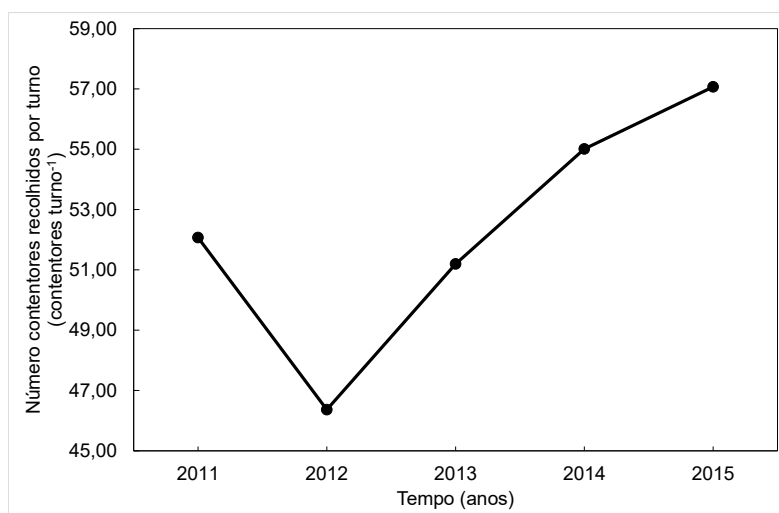


Figura 4.23: Evolução anual do número de contentores recolhidos por turno.

No que se refere à Figura 4.23 é possível perceber que desde o início de 2013 até final de 2015 existiu um aumento de 23% no número de contentores recolhidos por turno, o que significa que existiu um aumento do número de contentores recolhidos em cada turno. Este aumento do número de contentores recolhido por turno, associado ao aumento da quantidade recolhida por contentor explica o aumento das quantidades recolhidas por turno e por hora-homem (ver Figuras anteriores). Por outro lado, este aumento do número de contentores recolhido por turno estará certamente associado a uma maior otimização da distribuição de contentores no terreno e à melhor organização dos circuitos de recolha em função da implementação do modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores em 2013. Entre 2011 e 2015 este indicador cresceu 10%.

Na Figura 4.24 ilustra-se a evolução anual da utilização de recursos energéticos, entre 2011 e 2015.

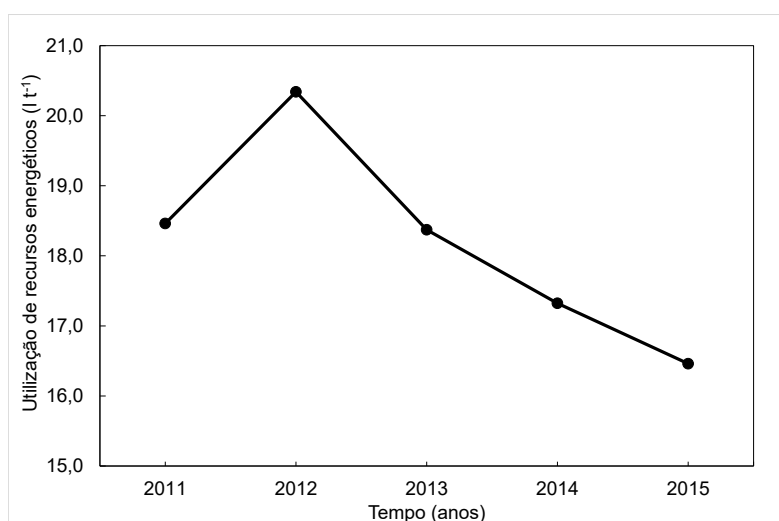


Figura 4.24: Evolução anual da utilização de recursos energéticos.

Em relação à evolução anual da utilização de recursos energéticos, é possível afirmar que a

tendência geral tem sido bastante positiva, uma vez que tem existido, a partir do início do ano de 2013, um decréscimo do número de litros de combustível utilizado na recolha de uma tonelada de resíduos de embalagens de papel e cartão, sendo que desde o início de 2013 até final de 2015 esse decréscimo foi de 19%. É também interessante realçar que a maior quebra no consumo de combustível aconteceu no ano de implementação do modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores. De um modo geral, a quebra foi de 11% desde o ano de 2011.

Em seguida, apresenta-se a Figura 4.25 com a evolução anual das emissões de gases com efeito de estufa, entre 2011 e 2015.

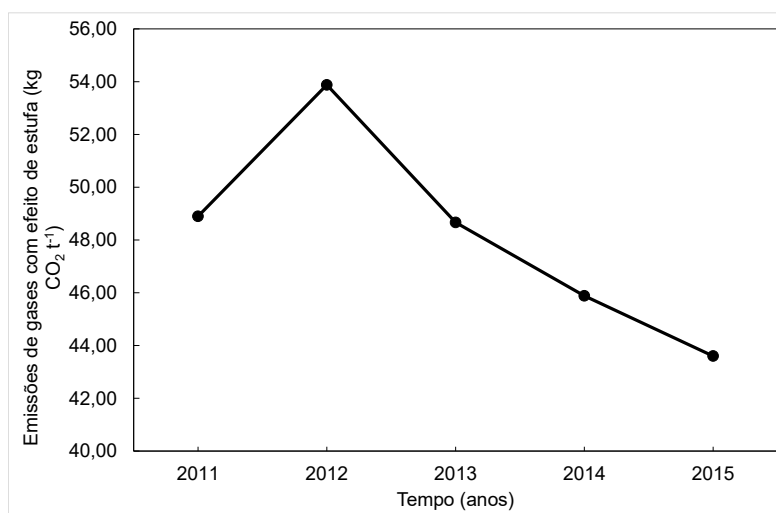


Figura 4.25: Evolução anual das emissões de gases com efeito de estufa.

Na Figura 4.25 observa-se que existiu um pico de emissões no ano de 2012, sendo que desde o início de 2013 até final de 2015 se registou um decréscimo, correspondente a 19%. No ano de 2015, as emissões situaram-se em 43,60 kg CO₂ t⁻¹, valor que, segundo LNEC e ERSAR (2013), qualifica a qualidade do serviço de recolha seletiva como mediana. Importa realçar que as emissões desceram 11% desde o ano de 2011. Refira-se ainda que tal como no indicador anterior a maior quebra aconteceu no ano de 2013, ano de introdução do modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores, uma vez que as emissões dependem diretamente do consumo de combustível, o que torna a evolução dos dois indicadores idêntica.

Apresenta-se em seguida a Figura 4.26 que ilustra a evolução anual da distância percorrida por tonelada de resíduos recolhidos, entre 2011 e 2015.

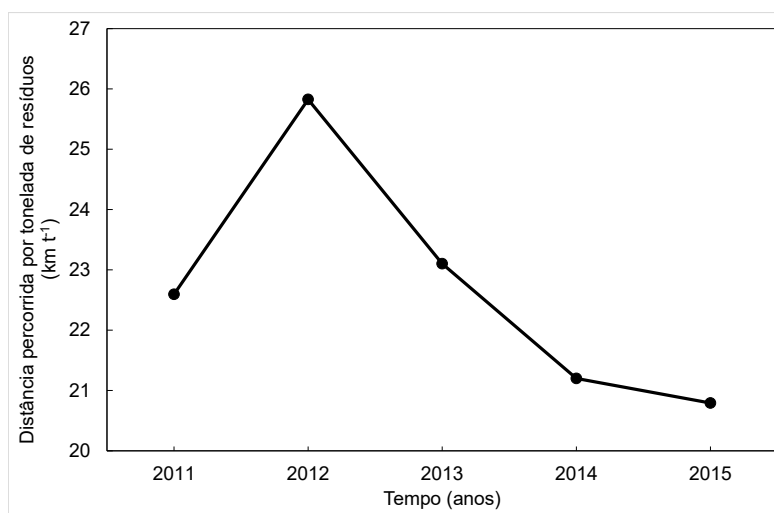


Figura 4.26: Evolução anual da distância percorrida por tonelada de resíduos recolhidos.

É possível observar na Figura 4.26, que representa a evolução anual da distância percorrida para recolher uma tonelada de resíduos de embalagens de papel e cartão, que o comportamento é bastante semelhante ao do indicador anterior, contudo a evolução anual é um pouco diferente, uma vez que nas figuras anteriores, para além do combustível relativo à distância percorrida está também incluído o consumo relativo à elevação dos contentores quando a viatura está parada. Denota-se um pico da distância percorrida para recolher uma tonelada no ano de 2012, em que foi necessário percorrer 26 quilómetros. O ano de 2015 continuou a registar um decréscimo desde o ano de 2012, ainda que menos acentuado que em 2014, sendo apenas necessário percorrer 20,79 quilómetros para recolher uma tonelada de resíduos, equivalente a uma redução de 19%. Importa referir que em geral a distância percorrida decresceu 8% desde 2011, sendo que o ano que representou a maior redução, foi o de 2013, ano de implementação do modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores. Torna-se também importante realçar que como a quantidade recolhida foi praticamente constante entre 2013 e 2015, e a quantidade por turno aumentou, então este indicador reflete esse aumento de eficiência, uma vez que a distância para recolher uma tonelada baixou significativamente desde 2013.

De seguida, apresenta-se a evolução anual, entre 2011 e 2015, da eficiência da recolha seletiva.

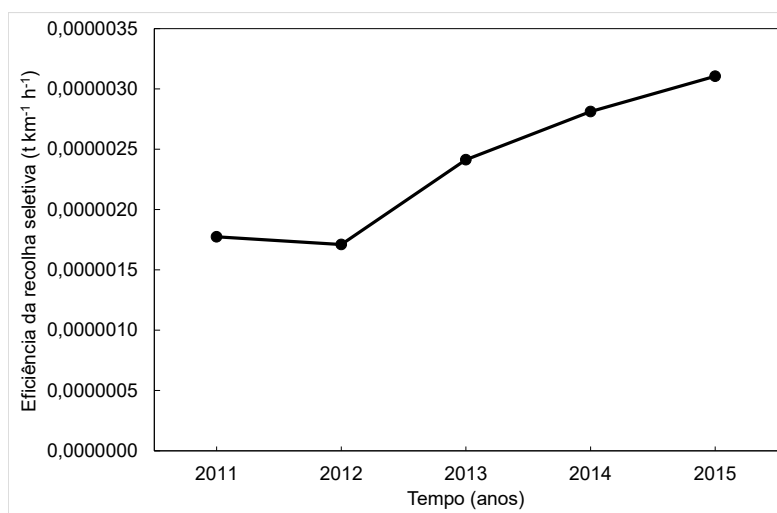


Figura 4.27: Evolução anual da eficiência de recolha seletiva.

Na Figura 4.27 ilustra-se a evolução anual da eficiência da recolha seletiva, sendo possível observar que em 2012 a eficiência decresceu. Destaca-se o ano de 2013 em que ocorreu uma subida de 29% da eficiência em relação a 2012, tendência que se manteve até 2015, com um crescimento de 82% nestes três anos de implementação do modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores, o que é um bom indicador da melhoria do serviço. Em geral a eficiência aumentou 75% desde 2011, o que reflete o que foi mencionado anteriormente.

Seguidamente apresenta-se a evolução anual da densidade de recolha, entre 2011 e 2015

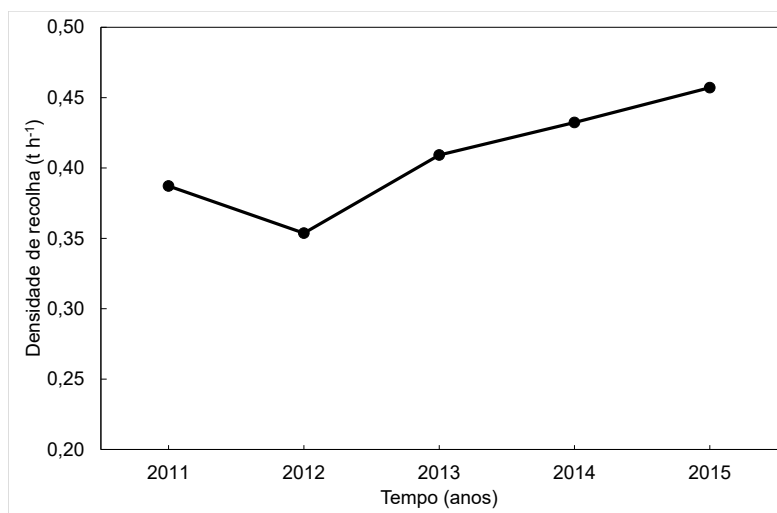


Figura 4.28: Evolução anual da densidade de recolha.

A Figura 4.28 ilustra a evolução anual da densidade de recolha entre os anos de 2011 e 2015, ficando evidente o comportamento crescente da densidade de recolha, uma vez que desde 2012 se regista uma tendência crescente das quantidades recolhidas por hora. Verificou-se um aumento da densidade de recolha na ordem dos 18% desde 2011. Este indicador contribui para a conclusão de que a eficiência aumentou, uma vez que desde o início de 2013 até final de 2015 a densidade de recolha aumentou 29%, o que ilustra de forma clara, que se necessitou de

menos tempo para recolher a mesma quantidade de resíduos. Registou-se um aumento de 110 quilogramas por cada hora, entre 2012 e 2015.

A Figura 4.29, que a seguir se ilustra, representa a evolução anual da produção por habitante, entre 2011 e 2015.

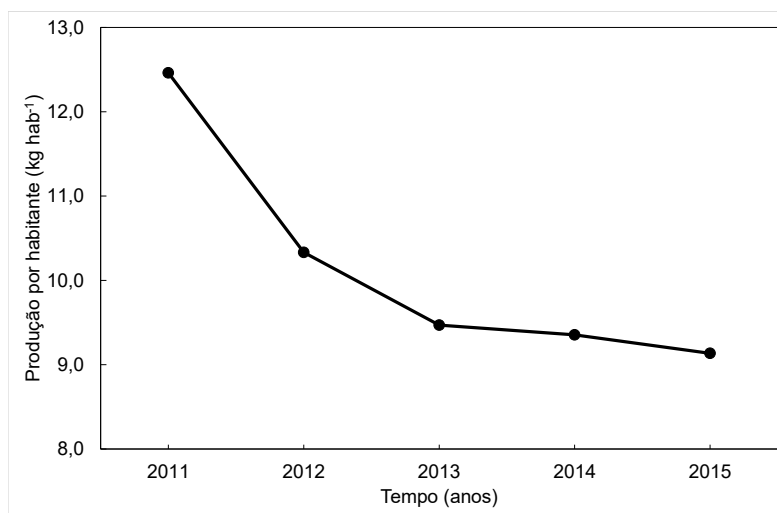


Figura 4.29: Evolução anual da produção por habitante.

A evolução anual da produção por habitante entre os anos de 2011 e 2015 está representada na Figura 4.29, sendo possível observar um decréscimo desde o ano de 2011, passando de 12,46 quilogramas por habitante por ano, para 9,13 quilogramas por habitante no ano de 2015, registando-se uma quebra de cerca de 27%. Importa realçar, que desde o início de 2013 até final de 2015, a produção por habitante decresceu 12%, no entanto, entre 2013 e 2015 essa variação foi de apenas 4%, verificando-se uma tendência de estabilização das quantidades recolhidas. Note-se, contudo que este indicador apresenta uma evolução que não depende da operação, pois todo o material colocado nos ecopontos foi recolhido, mas sim de fatores socioeconómicos relacionados com a sensibilização ambiental e com o consumo dos cidadãos que depende da situação económica e da crise que nestes anos afetou Portugal.

Apresenta-se em seguida, a evolução anual do custo do combustível, entre 2011 e 2015.

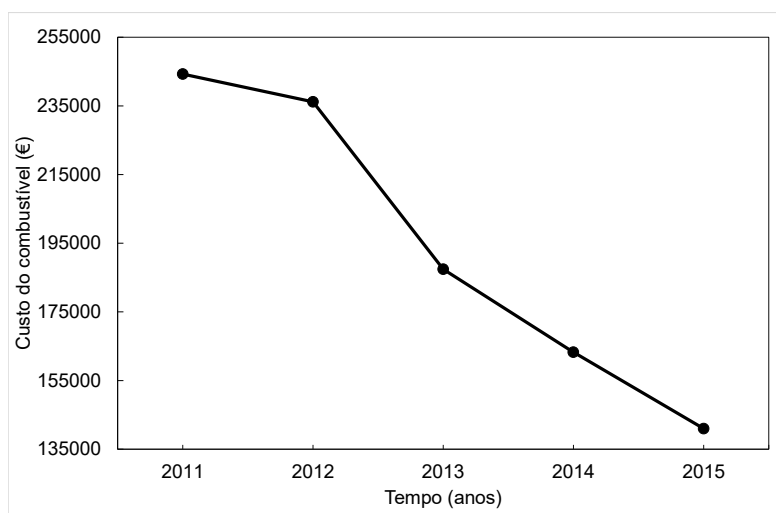


Figura 4.30: Evolução anual do custo do combustível.

No gráfico da Figura 4.30 é possível observar a evolução anual do custo total com combustível que se revela decrescente desde o ano de 2011, ano em que atingiu um máximo ao registar um valor de 244.266 €. A partir de 2011 a tendência é claramente positiva com o decréscimo acentuado da despesa que a AMARSUL tem com o combustível utilizado nas viaturas de recolha de resíduos de embalagens de papel e cartão. Em geral a descida, entre 2011 e 2015, situou-se nos 42%, valor bastante interessante, uma vez que, de acordo com a informação da AMARSUL, a despesa com combustível representa cerca de 13% dos custos associados ao sistema de recolha em estudo, sendo que grande parte dessa descida ocorreu desde o início de 2013 até final de 2015, com um total de 40%. Ainda de acordo com informação da AMARSUL, os maiores custos no sistema de recolha são os relacionados com trabalhadores, chegando aos 62%.

Em geral, é de realçar que existiu uma tendência de melhoria ao longo dos anos, no que se refere à fileira do papel e cartão, sendo de salientar a evolução bastante positiva dos indicadores “Quantidade recolhida por turno”, “Quantidade recolhida por hora-homem”, “Utilização de recursos energéticos”, “Emissão de gases com efeito de estufa”, “Distância percorrida por tonelada de resíduos”, “Eficiência da recolha seletiva” e “Custo do combustível”. Note-se que em relação ao indicador “Eficiência da recolha seletiva”, que reflete a evolução da eficiência operacional do processo de recolha seletiva de resíduos, se apresenta um aumento extraordinário de 82% nos últimos três anos, durante a implementação e funcionamento do modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores, que assenta na previsão do nível de enchimento dos contentores.

Salienta-se o ano de 2013, como aquele em que todos os indicadores operacionais registam melhorias significativas. Por outro lado, o ano de 2012 foi bastante negativo para a maioria dos indicadores. Em geral todos os indicadores operacionais registaram melhorias desde o início de 2013 até ao final do ano de 2015.

4.4 Embalagens de vidro

No Quadro 4.4 que se segue, são apresentados os resultados dos indicadores referentes à e embalagens de vidro recolhidas em ecoponto entre 2011 e 2015.

Quadro 4.4: Valores calculados dos indicadores selecionados no período de 2011 a 2015.

Indicador	2011	2012	Ano 2013	2014	2015
Quantidade recolhida por turno (kg turno ⁻¹)	14092,33	14122,46	16271,27	16192,49	16572,56
Quantidade recolhida por contentor (kg contentor ⁻¹)	338,04	375,62	483,10	506,09	495,97
Quantidade recolhida por hora-homem (kg hH ⁻¹)	1122,54	1209,88	1299,75	1351,25	1361,66
Quantidade recolhida por quilómetro (kg km ⁻¹)	134,60	145,82	139,29	124,91	131,90
Número de contentores recolhidos por turno (contentores turno ⁻¹)	42	38	34	32	33
Utilização de recursos energéticos (l t ⁻¹)	3,33	3,71	3,70	4,17	4,14
Emissão de gases com efeito de estufa (kg CO ₂ t ⁻¹)	8,81	9,82	9,79	11,05	10,97
Distância percorrida por tonelada resíduos (km t ⁻¹)	7,43	6,86	7,18	8,01	7,58
Eficiência recolha seletiva (t km ⁻¹ h ⁻¹)	2,67E-05	3,30E-05	4,09E-05	3,74E-05	3,88E-05
Densidade de recolha (t h ⁻¹)	1,76	1,77	2,03	2,02	2,07
Produção por habitante (kg hab ⁻¹)	11,46	10,06	8,94	8,71	9,09
Custo do combustível (€)	40 452	41 891	35 619	36 622	35 288

Nas Figuras 4.31 a 4.42 apresenta-se graficamente a evolução anual dos indicadores selecionados, referente ao período entre 2011 e 2015 para a fileira do vidro.

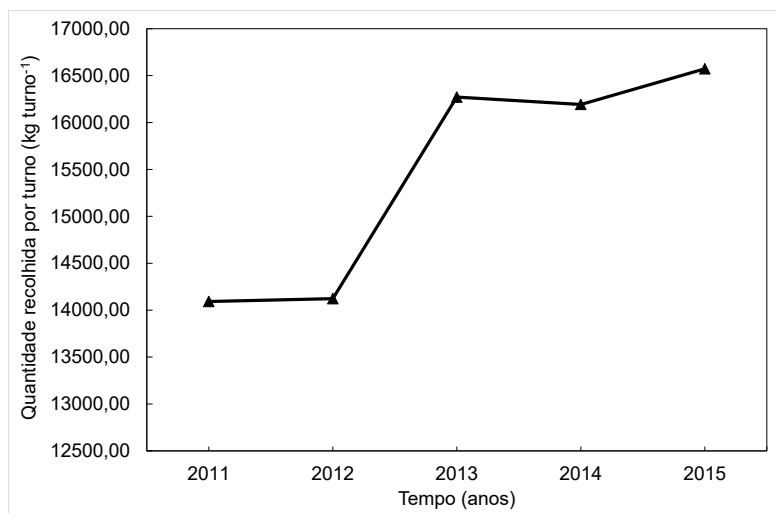


Figura 4.31: Evolução anual da quantidade recolhida por turno.

Em relação à evolução anual da quantidade recolhida por turno, representada na Figura 4.31, é possível perceber que a quantidade recolhida por turno aumentou 17% desde o início de 2013 até final de 2015, sendo que neste período a quantidade total recolhida diminuiu 10% (ver Figura 4.1). Na análise da Figura 4.3, também se verificou que existiu uma enorme redução do número de turnos efetuados, fazendo com que a quantidade recolhida por turno tenha sido maior neste período, registando 16573 quilogramas por turno em 2015, o que representa um

aumento de 2,45 toneladas em relação a 2012, um valor bastante acima das outras fileiras. Este fato deve-se certamente à maior densidade dos resíduos, mas também pelo facto de esta fileira contar com a ajuda dos circuitos dinâmicos.

Na Figura 4.32 apresenta-se a evolução anual da quantidade recolhida por contentor, na fileira do vidro, entre 2011 e 2015.

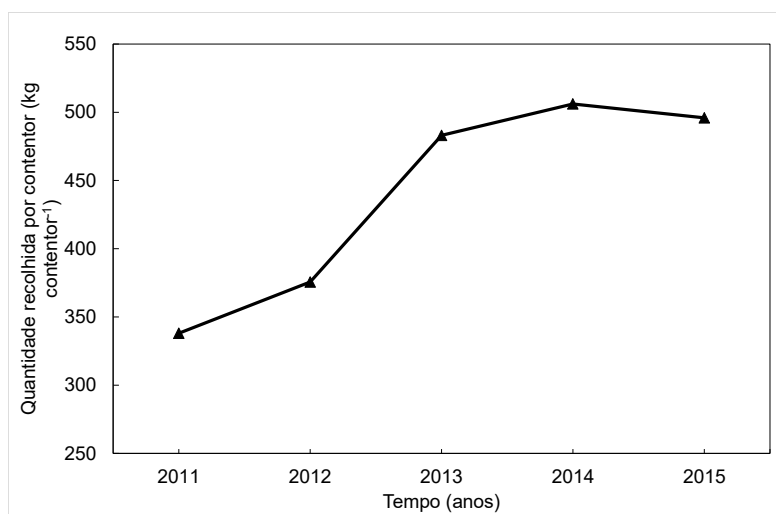


Figura 4.32: Evolução anual da quantidade recolhida por contentor.

A Figura 4.32, correspondente à evolução anual da quantidade recolhida por contentor, assinala uma evolução bastante positiva da quantidade recolhida por contentor, com destaque para o aumento de 32%, desde o início de 2013 até ao final de 2015, período em que o modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores e os circuitos dinâmicos estiveram a funcionar. No entanto, esta tendência positiva foi interrompida no ano de 2015, onde se verificou uma descida de 2% em relação ao ano transato. Em geral, a quantidade recolhida por contentor aumentou 47% em relação a 2011. Com a introdução do modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores e dos circuitos dinâmicos, este indicador cresceu bastante, aumentando a eficiência global do sistema de recolha, uma vez que os contentores se encontram com níveis de enchimento mais elevados, no momento da recolha.

Apresenta-se em seguida a Figura 4.33 com a evolução anual da quantidade recolhida por hora-homem, entre 2011 e 2015.

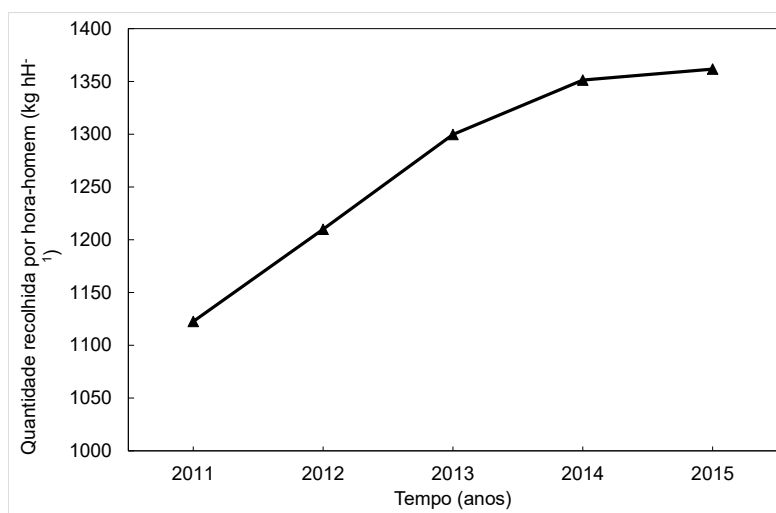


Figura 4.33: Evolução anual da quantidade recolhida por hora-homem.

No que se refere à evolução anual da quantidade recolhida por hora-homem, ilustrada na Figura 4.33, é possível observar que existe uma tendência de crescimento da quantidade recolhida por hora-homem, sendo que em geral desde 2011, este indicador cresceu 21%, tendo no período de aplicação do modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores e dos circuitos dinâmicos, desde o início de 2013 até final de 2015, crescido cerca de 13%. Esta tendência, de redução do número de horas-homem despendidas, demonstra que o sistema está mais eficiente com o modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores e os circuitos dinâmicos, já que se consegue recolher mais quantidades, gastando menos tempo.

Em seguida, apresenta-se a Figura 4.34 que ilustra a evolução anual da quantidade recolhida por quilómetro percorrido, entre 2011 e 2015.

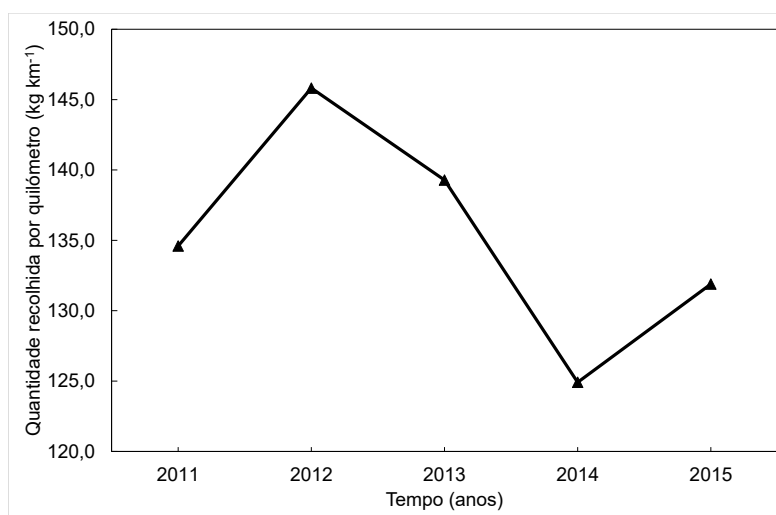


Figura 4.34: Evolução anual da quantidade recolhida por quilómetro percorrido.

No gráfico 4.34 pode observar-se a evolução anual da quantidade recolhida por quilómetro percorrido, sendo que existiu um aumento de 8% em 2012, em relação a 2011, para se registar um decréscimo significativo de 14%, no ano de 2014, quando comparado com o ano de 2012. No

entanto, existiu um aumento no ano de 2015, atingindo-se os 131,9 quilogramas por quilómetro. Em geral e tendo como base o ano de 2011, existiu um decréscimo de 2% na quantidade recolhida por quilómetro na fileira do vidro. Este decréscimo resulta do também decréscimo do número de contentores recolhidos por turno, onde existiu uma redução de 20% no período em análise (ver Figura 4.35). Devido aos circuitos dinâmicos, que fazem com que o circuito varie todos os dias em função do nível de enchimento dos contentores, sendo que a viatura apenas visita os contentores acima de um determinado nível de enchimento, é recolhido um menor número de contentores, no entanto estes estão mais cheios. Porém, a viatura percorre uma maior distância para recolher estes contentores mais cheios, já que estes estão mais afastados, passando ao lado de contentores mais vazios e que não são recolhidos.

O aumento do número de quilómetros percorridos origina um maior consumo de combustível, que acaba por ser compensado pela redução do combustível consumido durante a elevação de contentores, já que são elevados menos contentores para encher a caixa de carga, uma vez que se encontram mais cheios no momento da recolha.

Por outro lado, o decréscimo deste indicador também é compensado pelo aumento da quantidade recolhida por hora (ver Figura 4.40), o que na globalidade origina um aumento da eficiência do processo de recolha (ver Figura 4.39).

A Figura 4.35 que se ilustra a seguir, representa a evolução anual do número de contentores recolhidos por turno, entre 2011 e 2015.

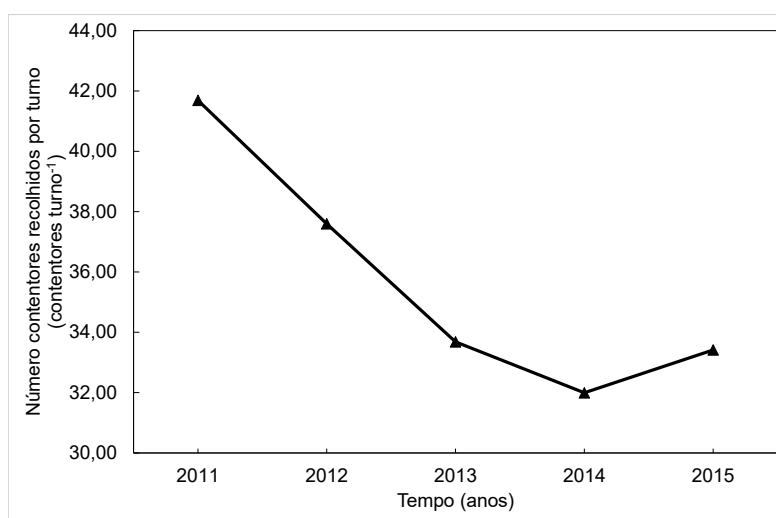


Figura 4.35: Evolução anual do número de contentores recolhidos por turno.

A evolução anual do número de contentores recolhidos por turno indica que existe uma tendência decrescente do número de contentores recolhidos por turno. Este decréscimo foi de cerca de 11% desde o início de 2013 até final de 2015. Correlacionado este indicador com os anteriores, é possível afirmar que a eficiência total do sistema de recolha de resíduos de embalagens de vidro aumentou, uma vez que se realizaram menos turnos e a quantidade recolhida por turno aumentou, ao mesmo tempo, recolheram-se menos contentores em cada turno, mas mais cheios do que antes da implementação do modelo de previsão do nível de enchimento dos

contentores e dos circuitos dinâmicos. Entre 2011 e 2015, a redução deste indicador foi no sentido do aumento da eficiência, tendo este indicador diminuído 20% nesse período.

Na Figura 4.36 está ilustrada a evolução anual da utilização de recursos energéticos, entre 2011 e 2015.

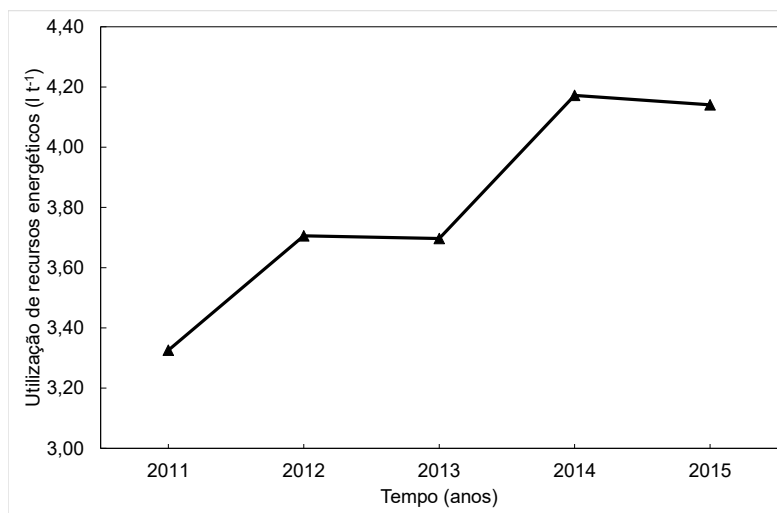


Figura 4.36: Evolução anual da utilização de recursos energéticos.

Na Figura 4.36 está ilustrada a evolução anual da utilização de recursos energéticos, observando-se uma evolução crescente do número de litros necessários para recolher uma tonelada de resíduos. Por um lado, existiu um crescimento de 10% do número de litros consumidos no ano de 2012, quando comparado com o ano de 2011. Por outro lado, existiu a manutenção do valor de 2012, no ano de implementação do modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores e dos circuitos dinâmicos. No entanto, em 2015, a tendência foi de decréscimo, atingindo-se mesmo, os 4,14 litros por tonelada recolhida em 2015. Em geral desde 2011, o consumo por tonelada aumentou 25%, o que acaba por ser uma tendência negativa. Esta tendência pode ser explicada pelo aumento do número de quilómetros necessários para encher a caixa de carga, derivado do facto de apenas se recolherem os contentores mais cheios, passando ao lado de outros contentores mais vazios sem os recolher.

Este facto, é o resultado da aplicação dos circuitos dinâmicos em função da previsão do nível de enchimento, permitindo encher a caixa de carga de uma forma mais célere, o que consequentemente permite o aumento de 2,45 toneladas em cada turno após a aplicação deste modelo em 2013. Este aumento verificado do consumo de combustível por tonelada recolhida, realça a necessidade de os circuitos dinâmicos serem acompanhados pela implementação da otimização de rotas, por forma a reduzir a distância percorrida entre contentores objeto da recolha em cada turno.

Em seguida apresenta-se a Figura 4.37 que ilustra a evolução anual das emissões de gases com efeito de estufa.

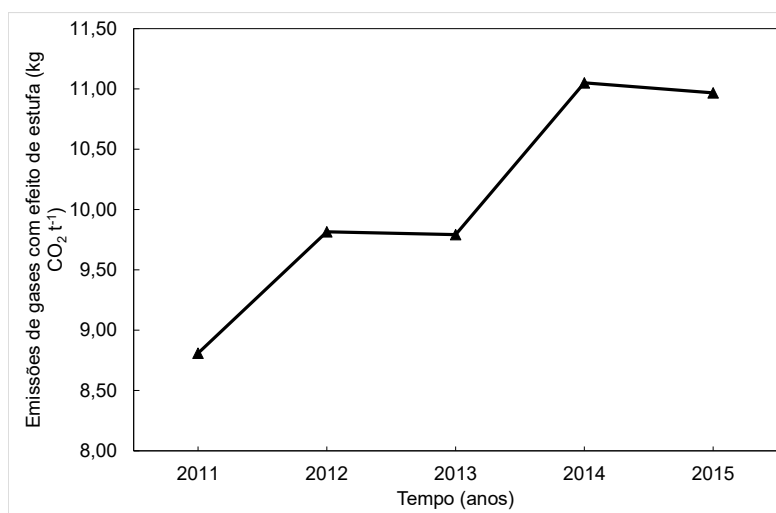


Figura 4.37: Evolução anual das emissões de gases com efeito de estufa.

A evolução anual das emissões de gases com efeito de estufa, representada na Figura 4.37, permite perceber que existiu um crescimento das emissões desde 2011. Interessa realçar que desde o início de 2013 até final de 2015 as emissões cresceram 12%, realçando-se o facto de a evolução anual ser idêntica ao indicador anterior, já que os dois indicadores, estão diretamente relacionados. No entanto, todos os anos estão abaixo dos 40 kg CO₂ t⁻¹ em que, segundo LNEC e ERSAR (2013), a qualidade do serviço é considerada boa. Em geral as emissões subiram 25% desde 2011.

Importa também referir que as viaturas de recolha de resíduos de embalagens de vidro são menos poluentes, uma vez que são de caixa aberta e não dispõem de um sistema de compactação dos resíduos, enquanto isso acontece no caso das viaturas de recolha de resíduos de embalagens de papel/cartão e plástico/metall, o que faz com que o consumo seja bastante menor nas viaturas de recolha de vidro, já que as viaturas de recolha de plástico e papel tem a tomada de força ligada para que o sistema de compactação funcione no momento da recolha, aumentando assim o consumo de combustível.

De seguida apresenta-se a evolução anual da distância percorrida por tonelada de resíduos recolhidos, entre 2011 e 2015.

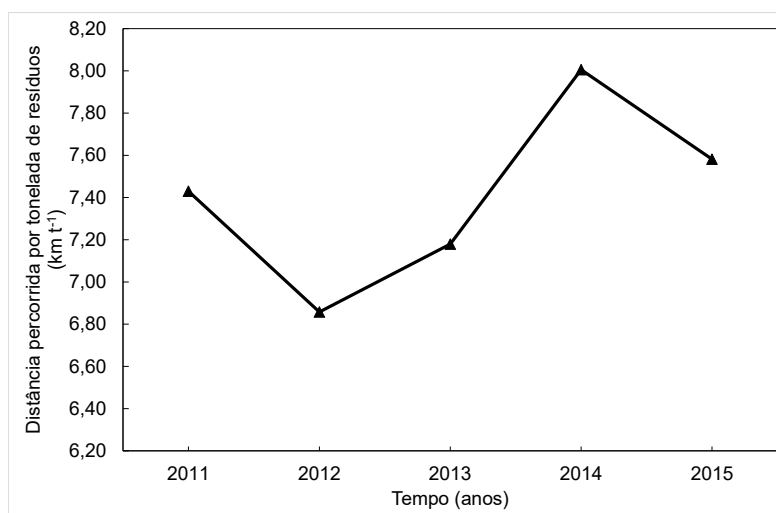


Figura 4.38: Evolução anual da distância percorrida por tonelada de resíduos recolhidos.

A Figura 4.38 ilustra a evolução anual da distância percorrida por tonelada de resíduos recolhidos, sendo possível perceber que tem um perfil bastante oscilante. Como tal, verifica-se um decréscimo da distância percorrida, especialmente no ano de 2012 com uma descida de 7,6% em relação a 2011. No ano de 2014 existe um aumento de 17% em relação a 2012. Contudo em 2015 ocorreu uma quebra de 5% na distância percorrida para recolher uma tonelada de resíduos de embalagens de vidro, em relação a 2014. No total desde 2011 a distância aumentou 2%, sendo de registar que desde o início de 2013 até final de 2015 aumentou 11%. Este indicador acaba por refletir alguma da informação já indicada por outros indicadores, que em geral a eficiência decresceu no ano de 2014 e voltou a recuperar um pouco no ano de 2015, como se pode confirmar na figura seguinte.

Seguidamente apresenta-se a evolução anual da eficiência da recolha seletiva, entre 2011 e 2015.

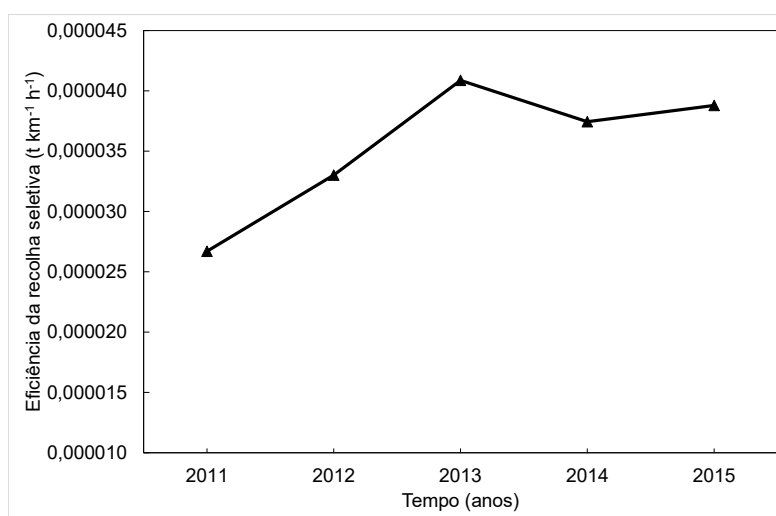


Figura 4.39: Evolução anual da eficiência de recolha seletiva.

Em relação à evolução anual da eficiência de recolha, ilustrada na Figura 4.39, é possível

perceber que o maior aumento percentual foi no ano de 2013, no valor de 19%, sofrendo um decréscimo no ano de 2014, de 8% em relação ao ano de 2013. No entanto, no período de três anos de implementação do modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores e dos circuitos dinâmicos, aumentou 17%, pois em 2015 voltou a registar um aumento de 4%, em relação a 2014. Em geral a eficiência da recolha seletiva da fileira do vidro cresceu 45%, desde o ano de 2011, o que representa uma evolução bastante positiva neste sistema de recolha.

Na Figura 4.40 apresenta-se a evolução anual da densidade recolha entre 2011 e 2015.

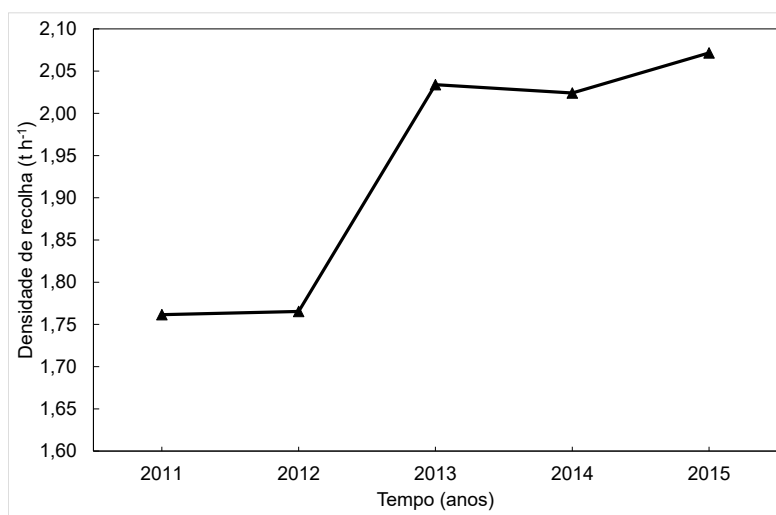


Figura 4.40: Evolução anual da densidade de recolha.

O gráfico da Figura 4.40 representa a evolução anual da densidade de recolha de resíduos de embalagens de vidro, nela é possível observar que existe uma tendência crescente da quantidade recolhida por cada hora despendida no processo, destaque para o ano de introdução do modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores e dos circuitos dinâmicos em que existiu um aumento de 13% neste indicador. Tal como se verificou no indicador anterior, no ano de 2014 existe um decréscimo de eficiência, que acaba por também se refletir na densidade de recolha. No geral a densidade de recolha aumentou 18% desde 2011. Importa também destacar que desde o início de 2013 até final de 2015 a densidade de recolha aumentou em 17%, o que representa uma melhoria na eficiência de recolha devido à introdução do modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores e dos circuitos dinâmicos.

A Figura seguinte ilustra a evolução anual da produção por habitante, entre 2011 e 2015.

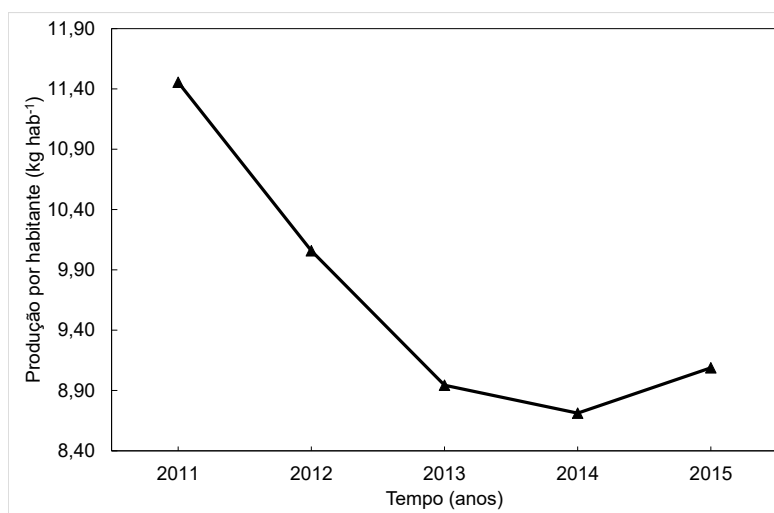


Figura 4.41: Evolução anual da produção por habitante.

A Figura 4.41 ilustra o indicador evolução anual da produção por habitante, onde é possível observar que existiu um decréscimo da quantidade produzida por habitante desde 2011 até 2014, o que coincide com a diminuição da quantidade total recolhida, uma vez que se considerou a população constante entre 2011 e 2015. Realce para o decréscimo sofrido em 2013, que foi de 13% em relação ao mesmo período no ano de 2012. Importa salientar que em 2015 se registou um aumento desta produção por habitante, passando a registar 9,09 quilogramas por habitante e por ano, sendo esta uma tendência positiva. Em geral e desde 2011, a produção por habitante decresceu cerca de 2,37 quilogramas por habitante, ou seja, 21%.

Em seguida representa-se a evolução anual do custo de combustível entre 2011 e 2015.

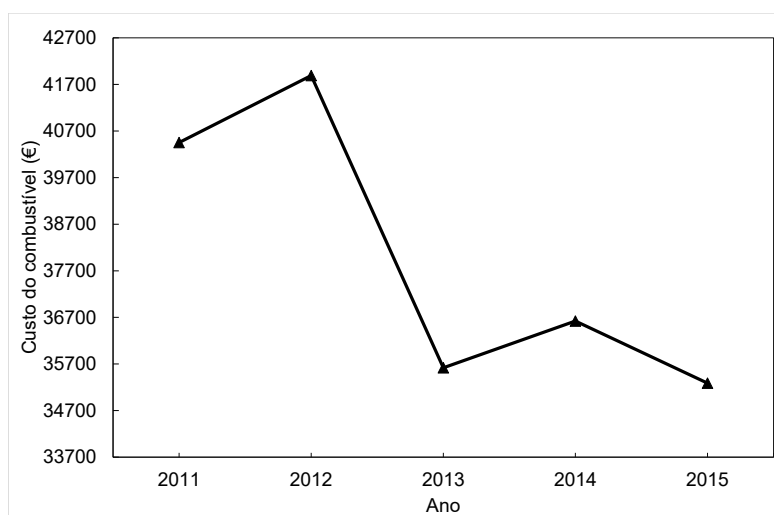


Figura 4.42: Evolução anual do custo do combustível.

Em relação à evolução anual do custo do combustível, apresentado na Figura 4.42, é interessante reparar que existiu um aumento de 3,5% em 2012, em relação a 2011. Por outro lado, em 2013, registou-se uma redução de 18%. Este indicador depende de dois fatores importantes que são o valor do litro em euros e o consumo verificado. O primeiro é um fator externo que

não é possível controlar e o segundo depende diretamente da gestão operacional da recolha dos resíduos pelo que desta forma estará associada à entrada em vigor do modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores e no caso da fileira do vidro em especial, dos circuitos dinâmicos. Em 2014 registou-se um novo aumento na despesa que a AMARSUL teve com combustível, aumentando 2,8% em relação a 2013, mesmo apesar do preço médio ter reduzido 6,5% nesse ano. Por fim, e tal como em muitos dos indicadores anteriores, o ano de 2015 apresentou uma perspetiva positiva com uma redução da despesa com combustível, sendo que desde o início de 2013 até final de 2015 existiu uma diminuição de 16% na despesa com combustível, assegurada acima de tudo pelo decréscimo do preço. Em geral a despesa com combustível desceu 13% desde o ano de 2011.

Nesta fileira existem melhorias no que se refere aos indicadores “Quantidade recolhida por turno”, “Quantidade recolhida por contentor”, “Quantidade recolhida por hora-homem”, “Número de contentores recolhidos por turno”, “Eficiência da recolha seletiva”, “Densidade de recolha” e “Custo do combustível”, que tiveram crescimentos importantes, nomeadamente a eficiência que teve um crescimento de 17%. Por outro lado, os indicadores “Utilização de recursos energéticos”, “Emissão de gases com efeito de estufa” e “Distância percorrida por tonelada de resíduos”, que registaram decréscimos na sua eficiência, prejudicados acima de tudo pelo ano de 2014 que claramente regista decréscimos de eficiência em praticamente todos os indicadores.

4.5 Análise comparativa entre fileiras

4.5.1 Quantidade recolhida por turno

A figura seguinte representa a evolução anual, para as três fileiras em estudo, da quantidade recolhida por turno, entre 2011 e 2015.

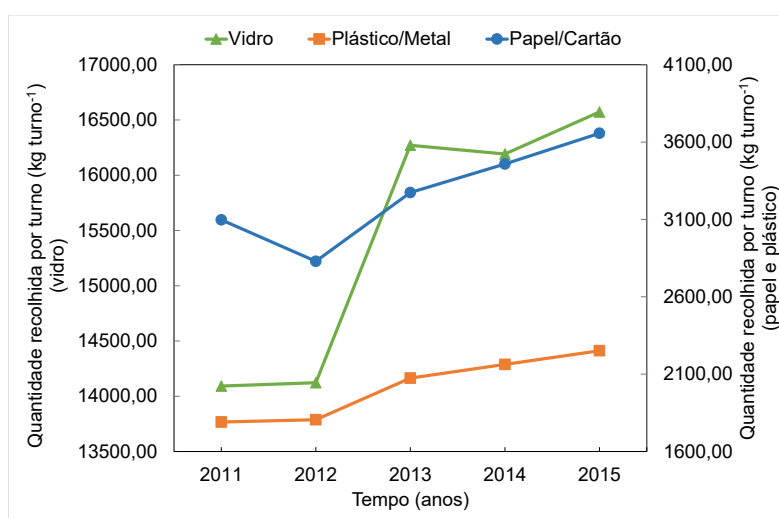


Figura 4.43: Evolução anual da quantidade recolhida por turno para as três fileiras em estudo, entre 2011 e 2015.

A quantidade recolhida por turno reflete bem as diferenças que existem entre cada fileira.

É possível observar que o plástico e metal é a fileira que tem a menor quantidade recolhida por turno, enquanto em contrapartida o vidro registra a maior quantidade recolhida por turno, devido à maior densidade do material. Em termos de quantidade recolhida, e comparando com o plástico e metal, o papel e cartão acabam por verificar maiores valores necessitando, porém, de menos turnos para o atingir. Interessa também registrar, que a evolução anual tem sido positiva e crescente em todas as fileiras, uma vez que desde o início de 2013 até final de 2015, no período de implementação e aplicação do modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores e dos circuitos dinâmicos, todas as fileiras registam um aumento deste indicador. Realce-se a fileira do vidro, em que após a implementação do referido modelo e dos circuitos dinâmicos, a quantidade recolhida por turno aumentou 2,45 toneladas, o que correspondeu a um aumento de 13% no ano de 2013 em relação a 2012. Este fato é também claramente o resultado da implementação dos circuitos dinâmicos nesta fileira.

A quantidade recolhida por turno é igual à quantidade recolhida por contentor multiplicada pelo número de contentores recolhidos por turno. Por exemplo em 2015, na fileira do vidro, apesar da quantidade por contentor ter caído cerca de 10 quilogramas, o número médio de contentores recolhido por turno aumentou cerca de 1,04, em resultado disto aumentou a quantidade por turno, que foi de 16573 quilogramas nesse ano, o valor mais elevado de sempre.

4.5.2 Quantidade recolhida por contentor

Na Figura 4.44 apresenta-se a evolução anual da quantidade recolhida por contentor, para as três fileiras, entre 2011 e 2015.

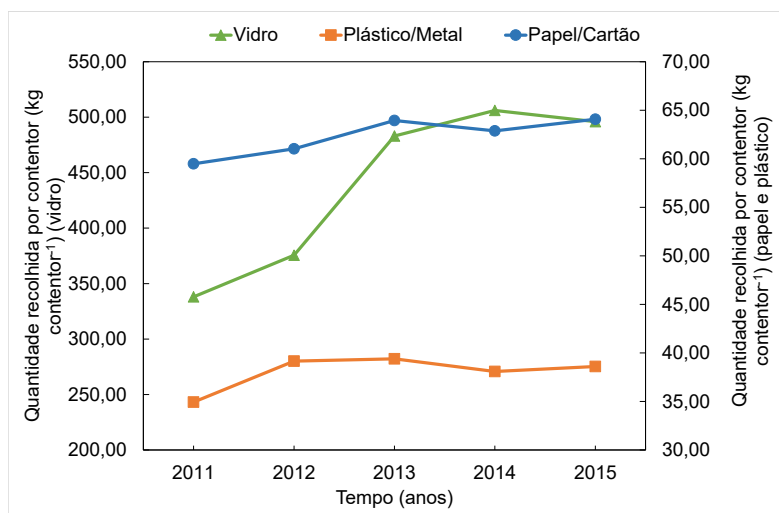


Figura 4.44: Evolução anual da quantidade recolhida por contentor para as três fileiras em estudo, entre 2011 e 2015.

Em relação à quantidade recolhida por contentor, o cenário é semelhante ao indicador anterior, devido principalmente à maior densidade do vidro, já que para volumes idênticos dos contentores, os valores recolhidos em massa por contentor são muito superiores aos das fileiras do plástico e metal e do papel e cartão. Registrando-se valores que em alguns casos chegam a ser

13 vezes superiores em relação ao plástico e metal e 8 vezes superiores no caso do papel e cartão. Interessa também realçar o comportamento da evolução anual de cada fileira, sendo que o ano de 2014 assinalou um decréscimo deste indicador na fileira do papel/cartão e do plástico/metal, enquanto que na fileira do vidro a evolução foi crescente de 2012 a 2014, o que contribui claramente para que desde o início de 2013 até final de 2015, o crescimento deste indicador na fileira do vidro fosse de 32%. Este bom resultado deve-se claramente ao modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores conjugado com os circuitos dinâmicos de recolha dos contentores. Em geral, este indicador registou melhorias em 2013, 2014 e 2015 nas fileiras do vidro e do papel/cartão e um pequeno decréscimo no plástico/metal.

4.5.3 Quantidade recolhida por hora-homem

Em seguida apresenta-se a evolução anual da quantidade recolhida por hora-homem entre 2011 e 2015, para as três fileiras em estudo.

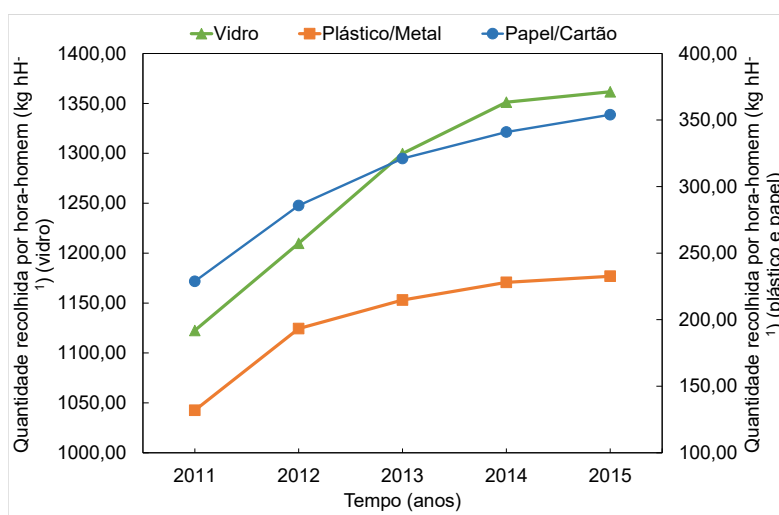


Figura 4.45: Evolução anual da quantidade recolhida por hora-homem para as três fileiras em estudo, entre 2011 e 2015.

O indicador quantidade recolhida por hora-homem, indica, à semelhança dos indicadores anteriores que a fileira do vidro é a que regista maiores níveis de produtividade, com uma quantidade recolhida por hora-homem claramente superior às outras duas fileiras. A evolução anual deste indicador nas três fileiras em estudo foi sempre crescente. Esta tendência de aumento da quantidade recolhida por hora-homem em todas as fileiras, conjugada ao facto de que as quantidades recolhidas por turno aumentaram em todas as fileiras, é o resultado da implementação do modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores e dos circuitos dinâmicos, resultando num aumento de eficiência e produtividade do sistema de recolha. Refira-se que o aumento em 2012 será o resultado direto da redução do número de funcionários afetos à recolha seletiva, que foi implementado neste ano, enquanto nos anos seguintes será o resultado da otimização da recolha derivada da implementação do referido modelo e dos circuitos dinâmicos em março de 2013. Note-se ainda, que o maior aumento deste indicador se verificou na fileira do vidro. Esta

diferença positiva, em comparação com as outras fileiras, deve-se seguramente à implementação dos circuitos dinâmicos na fileira do vidro em simultâneo com a previsão do nível de enchimento.

4.5.4 Quantidade recolhida por quilómetro

Seguidamente apresenta-se a evolução anual da quantidade recolhida por quilómetro entre 2011 e 2015, para as três fileiras.

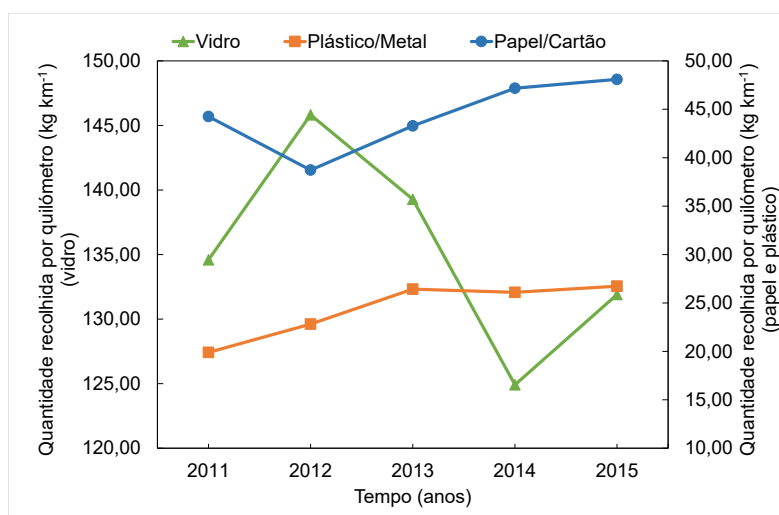


Figura 4.46: Evolução anual da quantidade recolhida por quilómetro para as três fileiras em estudo, entre 2011 e 2015.

No que se refere à quantidade recolhida por quilómetro, mais uma vez se assinala que a fileira do vidro é a que regista os maiores valores, devido à maior densidade do material. Quanto à evolução anual, é possível registar que foi bastante positiva na fileira do papel/cartão com um crescimento de 24% desde o início de 2013 até final de 2015 e na do plástico/metal com um crescimento assinalável de 17% desde o início de 2013 até ao final de 2015, ao passo que a fileira do vidro registou um decréscimo de cerca de 10% no mesmo período, contudo na fileira do vidro o decréscimo é de apenas 2% se considerado em relação ao ano de 2011. A razão deste decréscimo já foi analisada anteriormente, e é o resultado da implementação dos circuitos dinâmicos, que permite recolher uma maior quantidade por turno, sendo, no entanto, necessário realizar mais quilómetros por tonelada, porém, os resultados neste indicador também são compensados pelo aumento da quantidade recolhida por hora-homem.

4.5.5 Número de contentores recolhidos por turno

Na Figura 4.47 encontra-se representada a evolução anual do número de contentores recolhidos por turno, para as três fileiras, entre 2011 e 2015.

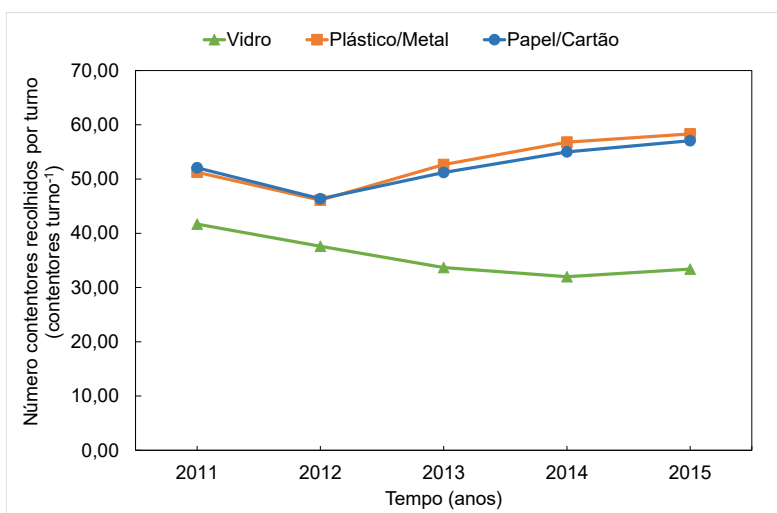


Figura 4.47: Evolução anual do número de contentores recolhidos por turno para as três fileiras em estudo, entre 2011 e 2015.

Em relação ao indicador “Número de contentores recolhidos por turno”, verifica-se que na fileira do vidro existiu uma redução de 11% de contentores recolhidos por turno, desde a implementação do modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores e dos circuitos dinâmicos em 2013. Contudo, uma vez que os contentores estão mais cheios devido ao modelo de previsão de enchimento, isto permite que a quantidade recolhida por turno aumente 17% desde o início de 2013 até final de 2015 (ver Figura 4.43). Por outro lado, verifica-se que nas fileiras do plástico/metal e papel/cartão, o número de contentores recolhidos por turno aumentou de igual forma, desde o início de 2013 até final de 2015, sendo necessário percorrer menos quilómetros para encher a caixa de carga (ver Figura 4.50), ao contrário do que ocorre na fileira do vidro.

Este semelhante comportamento da evolução do papel/cartão e do plástico/metal poderá estar relacionado com o facto de a AMARSUL ter continuado a reforçar a quantidade de contentores nos ecopontos ou até mesmo a colocar novos ecopontos. Esta melhor distribuição de contentores no terreno, tendo em consideração a previsão de enchimento, contribuiu para diminuir a taxa de transbordo e aumentar a periodicidade de recolha, mantendo praticamente o nível de enchimento de cada contentor sem grandes alterações no momento da recolha, ao mesmo tempo que foi reduzida a distancia percorrida por turno para recolher esses contentores.

Repare-se que a quantidade recolhida por contentor de vidro aumentou 32% nos anos de implementação do modelo de previsão e dos circuitos dinâmicos, no papel/cartão teve um pequeno aumento de 5% e no plástico/metal sofreu uma redução de 1,4%, isto considerando o intervalo de tempo que vai desde o início de 2013 até ao final de 2015. Ao mesmo tempo, nestas fileiras aumentou significativamente a quantidade recolhida por turno (ver Figura 4.43), o vidro aumentou 17,3%, o plástico aumentou 25% e o papel aumentou 29%, considerando o mesmo período temporal.

Pode-se assim concluir, que estes aumentos das quantidades recolhidas por turno se devem no caso do vidro, principalmente ao aumento da quantidade de resíduos recolhidos por contentor

e às custas de um aumento de quilómetros percorridos por tonelada recolhida e por turno. Por outro lado, relativamente às fileiras do papel/cartão e plástico/metall o aumento da quantidade recolhida por turno deve-se principalmente ao aumento do número de contentores recolhidos por turno, pois as quantidades recolhidas por contentor sofreram só ligeiras alterações, quer positiva no caso papel, quer negativa no caso do plástico. Note-se, que o aumento do número de contentores recolhidos por turno foi possível, porque as distâncias percorridas por turno sofreram uma redução nestas fileiras no período em análise (ver Figura 4.50), no caso do papel/cartão reduziram 19% e no caso do plástico/metall reduziram 15%. Isto é, os contentores recolhidos estão mais próximos uns dos outros.

Verifica-se que a otimização da recolha foi atingida na fileira do vidro de forma diferente à do papel e à do plástico. Nestas ultimas fileiras, não foram aplicados os circuitos dinâmicos, porém foi feita uma melhor distribuição de contentores no terreno e uma reorganização e ajuste dos circuitos, o que certamente levou ao aumento da periodicidade de recolha destes contentores, pois o nível de enchimento manteve-se praticamente com poucas variações. Por outro lado, o bom resultado no vidro deve-se principalmente à aplicação dos circuitos dinâmicos, que leva a viatura de recolha a passar ao lado de muitos contentores sem os recolher e a fazer mais quilómetros para recolher só os contentores mais cheios.

Importa também referir que este aumento do número de quilómetros na fileira do vidro é acompanhado por um aumento de 24% desde 2011 do número de cargas por turno, ou seja, no ano de 2015 a fileira do vidro em cada turno encheu duas vezes e meia a caixa de carga, o que faz com que aumente o número de quilómetros total percorrido em que não se está a proceder à recolha, já que o veículo tem de ir depositar os resíduos recolhidos e iniciar um novo circuito ou completar o circuito que estava a realizar.

4.5.6 Utilização de recursos energéticos

Em seguida apresenta-se a evolução anual da utilização de recursos energéticos, entre 2011 e 2015, para as três fileiras.

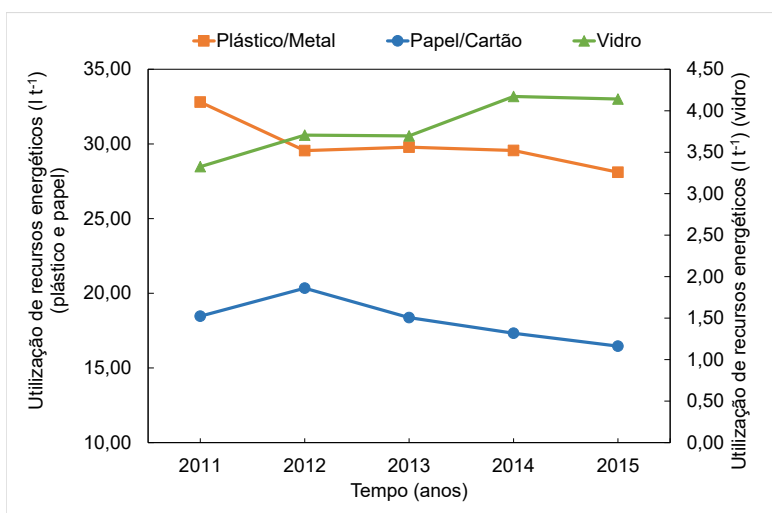


Figura 4.48: Evolução anual da utilização de recursos energéticos para as três fileiras em estudo, entre 2011 e 2015.

A utilização de recursos energéticos, medida em litros de combustível consumidos por cada tonelada recolhida, indica que a fileira do plástico/metal é claramente a que consome mais combustível por tonelada, estando em sentido contrário a fileira do vidro, que regista valores bastante baixos e na ordem dos 3 a 4 litros por tonelada recolhida. A evolução anual deste indicador foi bastante positiva nas fileiras do plástico/metal e papel/cartão, registando quebras consideráveis, ao passo que o vidro registou um aumento de 12%, desde o início de 2013 até final de 2015. Isto deve-se ao fato de que os circuitos dinâmicos necessitam de percorrer uma maior distância, para recolher maiores quantidades por turno. Este fato origina, como se verá mais adiante, que o aumento das eficiências nas fileiras do plástico e papel sejam superiores à do vidro.

Como é possível observar, no caso da fileira do vidro, o consumo por tonelada manteve-se praticamente constante em 2012 e 2013, apesar de a distância percorrida para recolher uma tonelada, ter aumentado consideravelmente no ano de 2013 (ver Figura 4.50). Isto deve-se ao fato da quantidade de contentores recolhidos ter diminuído e consequentemente o consumo na elevação dos mesmos ter também reduzido. Pode-se concluir, que o aumento do consumo devido ao aumento da distância percorrida foi compensado pela redução do consumo na elevação de contentores. Observa-se, contudo, que essa compensação não se verificou nos anos seguintes.

4.5.7 Emissão de gases com efeito de estufa

Seguidamente apresenta-se a evolução anual das emissões de gases com efeito de estufa, entre 2011 e 2015, para as três fileiras em estudo.

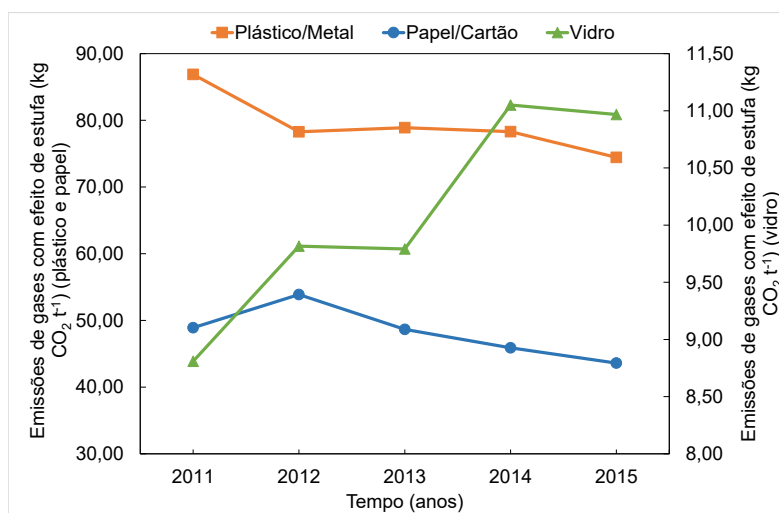


Figura 4.49: Evolução anual das emissões de gases com efeito de estufa para as três fileiras em estudo, entre 2011 e 2015.

Em relação à emissão de gases com efeito de estufa, assinala-se que a fileira do vidro é a menos poluente estando mesmo dentro da qualidade serviço boa, segundo [LNEC e ERSAR \(2013\)](#), o que é um fato bastante positivo. Por outro lado, a fileira do plástico e metal é a mais poluente assinalando valores próximos dos 75 kg CO₂ t⁻¹ no ano de 2015. A evolução anual tem sido bastante positiva na fileira do plástico/metal, registando um decréscimo de 5% do início de 2013 até final de 2015, em três anos, algo que também sucedeu na fileira do papel/cartão com um decréscimo no mesmo período de 19%. Já a evolução anual do vidro não tem sido tão positiva, apesar dos bons valores registados, uma vez que registou um aumento de emissões de 12% desde o início de 2013 até final de 2015, o que pode ser justificado pelo aumento dos quilómetros totais percorridos, devido aos circuitos dinâmicos, como explicado anteriormente.

4.5.8 Distância percorrida por tonelada de resíduos

De seguida, apresenta-se a evolução anual da distância percorrida por tonelada de resíduos recolhidos, para as três fileiras, entre 2011 e 2015.

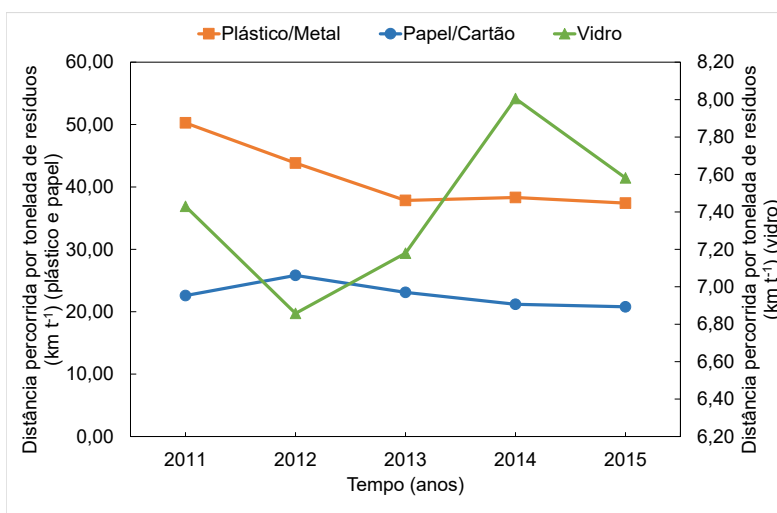


Figura 4.50: Evolução anual da distância percorrida por tonelada de resíduos para as três fileiras em estudo, entre 2011 e 2015.

O indicador distância percorrida por tonelada de resíduos, indica que mais uma vez, a fileira do vidro é a que regista melhores registos, seguida da fileira do papel/cartão. Em relação à evolução anual, é de realçar o decréscimo que este indicador obteve na fileira do plástico e metal, com o valor obtido em 2015 a ser menor em 15% que o de 2012, a mesma tendência também se verificou na fileira do papel e cartão, com um decréscimo de 19% entre 2012 e 2015. Por outro lado, a fileira do vidro, regista neste período, valores bastante aceitáveis neste indicador, com um aumento da distância necessária para recolher uma tonelada destes resíduos de 11%, entre 2012 e 2015, e de 2% entre 2011 e 2015.

Tal como se referiu anteriormente este aumento da distância percorrida na fileira do vidro, está relacionado com o fato de que nesta fileira se realizam pelo menos duas cargas por turno.

4.5.9 Eficiência da recolha seletiva

Apresenta-se em seguida, a evolução anual da eficiência da recolha seletiva, para as três fileiras em estudo, entre 2011 e 2015.

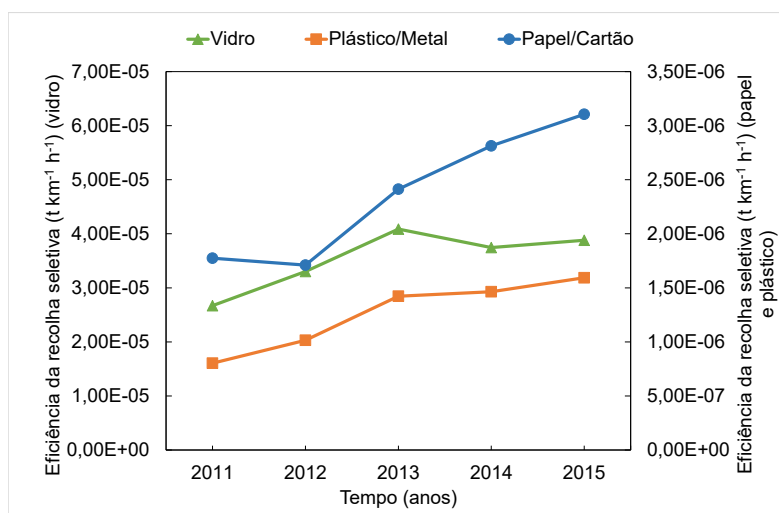


Figura 4.51: Evolução anual da eficiência da recolha seletiva para as três fileiras em estudo, entre 2011 e 2015.

A eficiência da recolha seletiva, medida em $t\ km^{-1}\ h^{-1}$, indica que claramente a fileira do vidro é a que consegue melhores níveis de eficiência, bastante à frente da fileira do papel/cartão. A evolução anual da eficiência da recolha seletiva é crescente em todas as fileiras, o que é um bom indicador da qualidade do serviço de recolha da AMARSUL. Destaque para o aumento de 57% da eficiência na fileira do plástico/metal e de 82% na fileira do papel/cartão, comparando com o valor de 2012. A fileira do vidro apesar de registar um aumento de 17% em relação a 2012, teve um decréscimo acentuado em 2014, o que afetou o aumento global. Estes dados confirmam o que foi dito anteriormente, com as fileiras do plástico/metal e papel/cartão a registarem maiores aumentos de eficiência. Relativamente ao vidro, principalmente devido o aumento dos quilómetros por tonelada recolhida, observa-se que a eficiência aumentou em 17%, o que se deve ao aumento positivo das toneladas recolhidas por hora que compensa o aumento negativo dos quilómetros por tonelada recolhida.

4.5.10 Densidade de recolha

Na Figura 4.52 apresenta-se a evolução anual da densidade de recolha, para as três fileiras em estudo, entre 2011 e 2015.

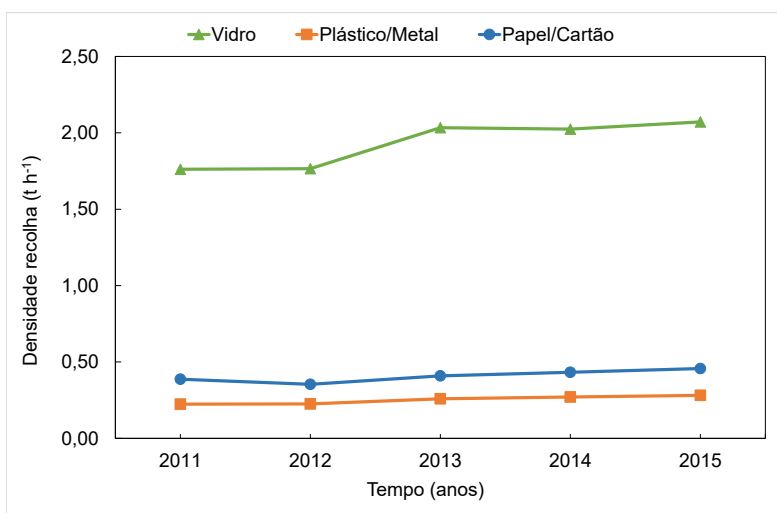


Figura 4.52: Evolução anual da densidade de recolha para as três fileiras em estudo, entre 2011 e 2015.

No que se refere à densidade de recolha, refletida em termos de toneladas recolhidas por horas gastas no processo de recolha, é possível afirmar que a fileira do vidro regista os melhores resultados, com valores na ordem de 2 toneladas por hora despendida no processo de recolha, bastante acima das 0,45 toneladas por hora da fileira do papel/cartão ou das 0,3 toneladas por hora da fileira do plástico/metal. Em relação à evolução anual, esta regista aumentos em todas as fileiras se considerarmos o ano de 2012 como referência base. Denota-se também que 2013 foi um ano especialmente importante para este indicador, já que todas as fileiras registaram evoluções bastante positivas no ano de introdução do modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores e dos circuitos dinâmicos.

4.5.11 Produção por habitante

Em seguida apresenta-se a evolução anual da produção por habitante, entre 2011 e 2015, para as três fileiras.

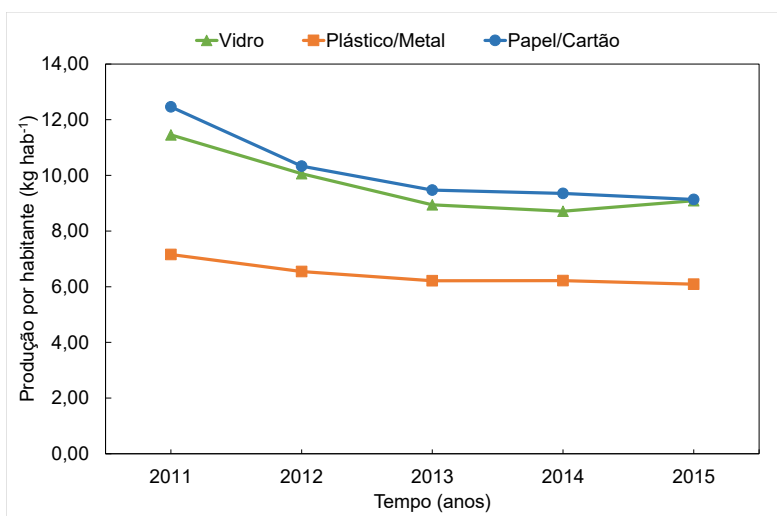


Figura 4.53: Evolução anual da produção por habitante para as três fileiras em estudo, entre 2011 e 2015.

A produção por habitante realça-se dos outros indicadores, pelo facto de que é a fileira do papel/cartão que regista uma maior produção por habitante, com valores entre os 12,46 kg hab⁻¹ em 2011 e os 9,13 kg hab⁻¹ em 2015, seguida da fileira do vidro que regista valores entre 11,46 kg hab⁻¹ em 2011 e os 9,09 kg hab⁻¹ em 2015. Já a fileira do plástico/metal regista valores muito baixos de apenas cerca de 6 quilogramas por habitante, também derivado ao menor peso destes resíduos. A evolução anual é interessante, uma vez que para todas as fileiras a produção por habitante registou uma descida no ano de 2012, comparativamente com 2011, especialmente na fileira do papel e cartão com um decréscimo de cerca de 17% em 2012.

Estes valores refletem a queda do poder de compra e do consumo da população em resultado da crise económica que se verificou durante o período em análise. Contudo, a partir de 2013 os valores variaram pouco, e mesmo apesar da crise, as quantidades recolhidas por habitante mantêm-se praticamente constantes, devido a fatores sociológicos e outros difíceis de determinar.

4.5.12 Custo do combustível

Por último, apresenta-se a evolução anual do custo do combustível, entre 2011 e 2015, para as três fileiras.

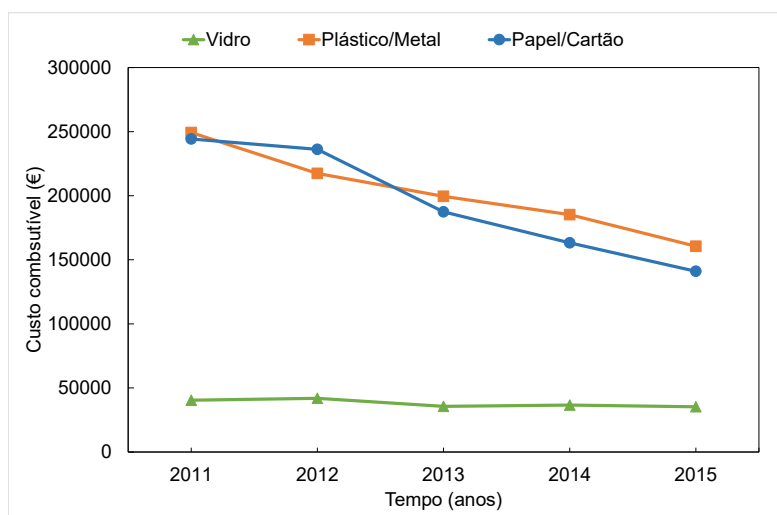


Figura 4.54: Evolução anual do custo de combustível para as três fileiras em estudo, entre 2011 e 2015.

O indicador custo do combustível, assinala que a fileira do vidro é a que tem menores custos, uma vez que regista custos da ordem dos 36.000 € por ano, enquanto nas outras fileiras os custos estão acima dos 140.000 € por ano, o que representa uma grande diferença entre as diferentes fileiras. No que se refere à evolução anual, é possível destacar a descida de 26% desde 2012 na fileira do plástico e metal, e de 40% na fileira do papel e cartão, sendo a redução de custos na fileira do vidro de 16%. Em geral, os custos baixaram desde o ano de 2012 em todas as fileiras. Importa ainda destacar, que apesar das quantidades recolhidas terem diminuído, existiu também uma redução do consumo de combustível nas fileiras do plástico/metal na ordem dos 11%, na do papel/cartão na ordem dos 29%, sendo que existiu um ligeiro aumento de 0,9% na fileira do vidro. Assim a redução dos custos de combustível deve-se á redução do consumo de

combustível e à da descida dos preços por litro que contribuíram para obter um registo positivo neste indicador de custo de combustível.

5 Conclusão e considerações finais

Nesta dissertação foi feita a avaliação do “Estudo de Caso” da AMARSUL, recorrendo-se a dados da recolha seletiva dos últimos cinco anos e a indicadores apresentados na bibliografia, aos utilizados pela própria AMARSUL e a um indicador criado no âmbito do presente trabalho, de modo a ser possível avaliar de uma forma mais precisa as três fileiras em estudo, e em especial a fileira do vidro por contar com circuitos dinâmicos.

Em seguida, apresentam-se algumas conclusões que podem ser extraídas dos resultados anteriormente expostos:

1. Em relação às quantidades recolhidas por turno, a fileira do papel/cartão é a que regista maior aumento global, desde o início de 2013 até final de 2015, com 29%. O plástico registou neste período um aumento de 25% e o vidro de 17%, o que corresponde a um aumento de 2,45 toneladas por turno nesta fileira desde 2013, no período de implementação do modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores e dos circuitos dinâmicos. Como tal, é possível concluir que existiu um aumento da eficiência, já que se realizaram menos turnos e as quantidades recolhidas, foram praticamente constantes entre 2013 e 2015, devendo-se este facto à aplicação do referido modelo e dos circuitos dinâmicos.
2. A quantidade recolhida por contentor, aumentou em todas as fileiras, realçando-se a fileira do vidro com um aumento de 32% desde o início de 2013 até final de 2015, resultante seguramente do nível de previsão de enchimento dos contentores e da aplicação dos circuitos dinâmicos nesta fileira. Importa também referir a tendência de estabilização deste indicador no que se refere à fileira do plástico/metal e a tendência crescente de aumento na fileira do papel/cartão, o que demonstra que os contentores recolhidos estão mais cheios, em resultado muito provavelmente da aplicação do modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores.
3. A quantidade recolhida por hora-homem regista um aumento em todas as fileiras desde o início de 2013 até final de 2015, importando registar o crescimento que se obteve na fileira do papel/cartão com 24% neste período. Isto indica um real aumento da produtividade e de eficiência, uma vez que existiu um aumento da quantidade recolhida em cada turno, então aumentou a produtividade, sendo agora necessário despende menos horas para recolher praticamente a mesma quantidade de resíduos. Em geral a evolução foi crescente e bastante positiva em todas as fileiras.
4. A quantidade recolhida por quilómetro demonstra o aumento de eficiência nas fileiras do papel e plástico, uma vez que aumentou em ambas, desde o início de 2013 até final de 2015 mais de 16%. Por outro lado, na fileira do vidro este indicador registou um decréscimo, devido ao facto de que os contentores recolhidos estão mais distantes uns dos outros, sendo necessário percorrer uma maior distância para recolher um quilograma de resíduos,

no entanto os contentores recolhidos estão mais cheios e no fim do turno são recolhidas em média mais 2,45 toneladas de resíduos de embalagens de vidro.

5. O número de contentores recolhidos por turno, registou uma diminuição na fileira do vidro e um aumento nas fileiras do plástico/metall e papel/cartão. Assim, regista-se um aumento de eficiência na fileira do vidro, uma vez que as quantidades totais recolhidas não se alteraram grandemente no período de 2013-2015, ao passo que o número de turnos diminuiu, o que faz com que apesar de se recolherem menos contentores, estes se apresentem mais cheios, evitando-se assim a recolha de contentores mais vazios.

No caso da fileira do papel/cartão, este aumento de contentores recolhidos por turno origina um aumento da quantidade recolhida por turno em percentagem, que foi maior do que na fileira do plástico, pois para além de se recolherem mais contentores, estes encontravam-se mais cheios, tendo assim a eficiência sofrido um maior aumento no sistema de recolha da fileira do papel/cartão.

6. A utilização de recursos energéticos manifesta um decréscimo nas fileiras do plástico e papel, principalmente nesta última, que regista um decréscimo de 19% desde o início de 2013 até final de 2015. Por outro lado, a fileira do vidro regista um aumento, resultado de um maior aumento da distância percorrida, devido aos circuitos dinâmicos, que, no entanto, permitem assim recolher uma maior quantidade por turno. Note-se, contudo, que no caso da fileira do vidro, o consumo total não aumentou na mesma proporção que a distância percorrida, uma vez que a componente do consumo referente à elevação de contentores sofreu uma redução, devido ao fato de se recolherem menos contentores, por estes se encontrarem mais cheios no momento da recolha.
7. Em relação à avaliação ambiental, esta foi efetuada recorrendo ao indicador “Emissão de gases com efeito de estufa”, sendo de realçar o fato de que a fileira do vidro, encontra-se dentro da qualidade de serviço considerada boa por [LNEC e ERSAR \(2013\)](#). No que se refere às outras duas fileiras, a qualidade ainda é considerada insatisfatória no caso do plástico/metall e mediana no caso da fileira do papel/cartão, indicando que ainda podem existir melhorias nestas fileiras, no entanto ambas as fileiras têm vindo a registar melhorias desde a introdução do modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores. Tal como se referiu anteriormente, os melhores resultados do vidro resultam do menor consumo das suas viaturas, já que estas não possuem o sistema de compactação dos resíduos, presente nas outras duas fileiras e que faz aumentar o consumo e por consequência as emissões de gases com efeito de estufa nessas fileiras.
8. A distância percorrida por tonelada de resíduos, registou um decréscimo importante nas fileiras do papel e plástico, realçando o aumento de eficiência destas fileiras, importando também referir a tendência de estabilização na fileira do plástico/metall. Em sentido oposto encontra-se a fileira do vidro que viu este indicador crescer 11% entre 2012 e 2015, registando, no entanto, um ligeiro decréscimo no ano de 2015. Isto deve-se ao fato de se

recolherem menos contentores, e apesar de estes se encontrarem mais cheios, é necessário percorrer um maior número de quilómetros entre contentores, permitindo desta forma que a quantidade recolhida por turno aumente em 2,45 toneladas, também associado a este fato surge o aumento de 24% que se verificou desde o ano de 2011 no número de cargas por turno. Assim na fileira do vidro a caixa de carga é totalmente cheia pelo menos duas vezes num turno, o que faz com que seja necessário percorrer uma maior distância, para ir depositar os resíduos e regressar para iniciar um novo circuito ou completar o que estava a ser realizado, em que não existe recolha de resíduos, contribuindo este fato para o aumento da distância total percorrida.

9. Em relação ao indicador eficiência da recolha, em geral, todas as fileiras registaram aumentos de eficiência com a entrada em prática do modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores e dos circuitos dinâmicos, destacando-se as fileiras do papel e plástico, com aumentos excecionais de 82% e 57%, respetivamente. A fileira do vidro apesar de apresentar a maior eficiência, registou um decréscimo de eficiência em 2014, acabando, contudo, por se verificar um aumento da eficiência de 17%, desde o início de 2013 até final de 2015, justificado pelo aumento das toneladas recolhidas por hora, que compensaram o aumento dos quilómetros percorridos e que resultam da aplicação dos circuitos dinâmicos a esta fileira.
10. A densidade de recolha registou aumentos em todas as fileiras, assim a quantidade recolhida por hora aumentou, o que reflete os aumentos de eficiência que ocorreram em todas as fileiras. Este resultado é especialmente importante na fileira do vidro, uma vez que vem compensar o fato de que aumentou a distância percorrida total, entre 2012-2015, sendo que as quantidades totais recolhidas sofreram uma diminuição de 9% nesse mesmo intervalo.
11. A produção por habitante, demonstra que a partir do ano de 2014, as produções foram praticamente constantes em todas as fileiras, registando pequenas variações, se tivermos como base o período entre 2013-2015, tal facto poderá ser resultado de diversos fatores sociológicos difíceis de determinar e não tanto devido à implementação do modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores e dos circuitos dinâmicos em março de 2013.
12. A avaliação económica foi elaborada através do indicador “Custo de combustível”, sendo possível concluir que todas as fileiras registaram evoluções bastante positivas, com decréscimos desde o início de 2013 até final de 2015, principalmente na fileira papel e cartão e plástico e metal. Importa ainda referir que a fileira do vidro é a que regista um menor encargo com combustível.
13. A fileira do vidro é a que regista melhores valores globais na generalidade dos indicadores, devendo-se este fato à maior densidade do material, uma vez que em geral os indicadores estão relacionados com as quantidades recolhidas.
14. Conclui-se também que a otimização da recolha foi atingida na fileira do vidro de forma

diferente à do papel e à do plástico. Nestas ultimas fileiras, não foram aplicados os circuitos dinâmicos, porém foi feita uma melhor distribuição de contentores no terreno e uma reorganização e ajuste dos circuitos, o que certamente levou ao aumento da periodicidade de recolha destes contentores, já que o nível de enchimento se manteve praticamente sem alterações. Por outro lado, o bom resultado na fileira do vidro deve-se principalmente à aplicação dos circuitos dinâmicos, que fazem com que a viatura de recolha tenha de passar ao lado de muitos contentores sem os recolher e a realizar mais quilómetros para recolher só os contentores mais cheios.

Apesar de se verificarem resultados bastante positivos, como se referiu anteriormente, existem algumas considerações importantes a tecer, nomeadamente:

1. Possivelmente se forem aplicados também os circuitos dinâmicos às fileiras do plástico/metal e papel/cartão, os resultados poderão ainda sofrer maiores melhorias, principalmente se for conjugado com a otimização de rotas.
2. A fileira do vidro também pode beneficiar de uma melhoria significativa, nomeadamente no que se refere à quantidade recolhida por quilómetro, distância percorrida por tonelada de resíduos e utilização de recursos energéticos, para tal sugere-se a aplicação do modelo de otimização de rotas definido por [Zsigraiova et al. \(2013\)](#), em que são conjugados a otimização de rotas com [SIG](#) e o modelo de previsão de nível de enchimento dos contentores.
3. Certamente aos resultados obtidos poderá também ser feita uma análise estatística mais detalhada para validar as principais conclusões do presente trabalho, que evidenciam existir claramente diferenças positivas, ganhos de eficiência, e redução de custos significativos, entre o antes e após a aplicação do modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores e dos circuitos dinâmicos, em termos de planeamento e otimização do processo de recolha seletiva de resíduos de embalagem. Nomeadamente, será importante confirmar e validar o aumento do indicador eficiência nas fileiras do papel e plástico, com aumentos excecionais de 82% e 57%, respetivamente.

Importa também destacar a capacidade de inovação, de otimização do processo de recolha e de procura do melhor serviço prestado às populações efetuado pela AMARSUL, uma vez que além da participação nesta dissertação, a AMARSUL tem estado em contacto permanente e tem beneficiado da relação entre o mundo académico e empresarial. A prova disso é o [SIGRS](#) e o modelo de previsão do nível de enchimento dos contentores, que permitiu introduzir melhorias significativas, avaliadas neste trabalho, e prestar assim um melhor serviço às populações, aliando o conhecimento da [ATTCEI](#) e do mundo académico com a grande experiência que a AMARSUL possui em gestão de resíduos e recolha seletiva de embalagens, e que é essencial para se perceber como funciona e como pode ser melhorado o sistema de recolha de resíduos.

Em termos globais, da análise efetuada, é possível afirmar que os resultados obtidos pela AMARSUL são bastante positivos, mostrando os benefícios reais resultantes da relação próxima que a empresa mantém com o mundo académico e encoraja a continuação deste trabalho de

inovação e de procura continua da melhoria do serviço prestado associado à eficiência de operação do mesmo.

Referências bibliográficas

- AMARSUL. AMARSUL - Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos, S.A, 2016. URL <http://www.amarsul.pt/>.
- Bing, X., Bloemhof, J. M., Ramos, T. R. P., Barbosa-Povoa, A. P., Wong, C. Y., e van der Vorst, J. G. Research challenges in municipal solid waste logistics management. *Waste Management*, 48:584–592, 2015.
- Braekers, K., Ramaekers, K., e Van Nieuwenhuysse, I. The vehicle routing problem: State of the art classification and review. *Computers and Industrial Engineering*, 2015.
- Bringhenti, J. *Coleta Seletiva De Resíduos Sólidos Urbanos : Aspectos Operacionais E Da Participação da População*. Tese de Doutorado, 2004.
- Bringhenti, J. R., Zandonade, E., e Gunther, W. M. R. Selection and validation of indicators for programs selective collection evaluation with social inclusion. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(11):876–884, 2011.
- Campos, L. M. S., Aparecida, D., Heizen, D. M., Angel, M., Augusto, P., e Miguel, C. Environmental performance indicators : a study on ISO 14001 certified companies. *Journal of Cleaner Production*, 99:286–296, 2015.
- Cifrian, E., Galan, B., Andres, A., e Viguri, J. R. Material flow indicators and carbon footprint for MSW management systems: Analysis and application at regional level, Cantabria, Spain. *Resources, Conservation and Recycling*, 68:54–66, 2012.
- D’Onza, G., Greco, G., e Allegrini, M. Full cost accounting in the analysis of separated waste collection efficiency: A methodological proposal. *Journal of Environmental Management*, 167: 59–65, 2016.
- EPA. Report on the Environment. Relatório técnico, 2015. URL <https://cfpub.epa.gov/roe/about.cfm>.
- ERSAR. Sistema de avaliação da qualidade dos serviços de águas e resíduos prestados aos utilizadores Seminário de apresentação da 2 .^a geração do sistema de indicadores. 2009.
- EUROSTAT. Municipal waste generated by country in selected years (kg per capita), 2016. URL [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Municipal_waste_generated_by_country_in_selected_years_\(kg_per_capita\).png](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Municipal_waste_generated_by_country_in_selected_years_(kg_per_capita).png).
- Faccio, M., Persona, A., e Zanin, G. Waste collection multi objective model with real time traceability data. *Waste Management*, 31(12):2391–2405, 2011.

- Gamberini, R., Del Buono, D., Lolli, F., e Rimini, B. Municipal solid waste management: Identification and analysis of engineering indexes representing demand and costs generated in virtuous Italian communities. *Waste Management*, 33(11):2532–2540, 2013.
- Golden, B., Raghavan, S., e Wasil, E. *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges*, volume 43. 2008.
- Greene, K. L. e Tonjes, D. J. Quantitative assessments of municipal waste management systems: Using different indicators to compare and rank programs in New York State. *Waste Management*, 34(4):825–836, 2014.
- Gudmundsson, H., Hall, R., Marsden, G., e Zietsman, J. *Sustainable Transportation. Indicators, Frameworks and Performance Management*. 2012. ISBN 9783662469231.
- Herva, M. e Roca, E. Ranking municipal solid waste treatment alternatives based on ecological footprint and multi-criteria analysis. *Ecological Indicators*, 25:77–84, 2013.
- Huang, Y.-T., Pan, T.-C., e Kao, J.-J. Performance assessment for municipal solid waste collection in Taiwan. *Journal of environmental management*, 92(4):1277–1283, 2011.
- INE. *Censos 2011: Resultados Definitivos - Portugal*. 2011.
- Johansson, O. M. The effect of dynamic scheduling and routing in a solid waste management system. *Waste Management*, 26(8):875–885, 2006.
- Kao, J.-J. e Lin, T.-I. Shortest service location model for planning waste pickup locations. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 52(5):585–592, 2002.
- Karagiannidis, A., Xirogiannopoulou, A., e Perkoulidis, G. Assessing the collection of urban solid wastes: A step towards municipality benchmarking. *Water, Air, and Soil Pollution*, 4: 397–409, 2004.
- Lin, C., Choy, K. L., Ho, G. T. S., Chung, S. H., e Lam, H. Y. Survey of Green Vehicle Routing Problem: Past and future trends. *Expert Systems with Applications*, 41:1118–1138, 2014.
- LNEC e ERSAR. *Guia de avaliação da qualidade dos serviços de águas e resíduos prestados aos utilizadores - 2ª geração do sistema de avaliação*. 2013.
- Magrinho, A. e Semião, V. On the effect of annual evolution of rejected and non-rejected rates in the screening process of packaging wastes on meeting target recycling rates. *Resources, Conservation and Recycling*, 56:561–576, 2007.
- Magrinho, A., Didelet, F., e Semião, V. Municipal solid waste disposal in Portugal. *Waste Management*, 26:1477–1489, 2006.
- MAOTE. Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos, 2014.

- Mendes, C., De Souza, L. S., Kalid, R., Esquerre, K., e Kiperstok, A. Assessment of the uncertainty associated with the energy indicator. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(6):3156–3164, 2011.
- Mendes, P., Santos, A. C., Nunes, L. M., e Teixeira, M. R. Evaluating municipal solid waste management performance in regions with strong seasonal variability. *Ecological Indicators*, 30:170–177, 2013.
- Milutinovic, B., Stefanovic, G., Dassisti, M., Markovic, D., e Vuckovic, G. Multi-criteria analysis as a tool for sustainability assessment of a waste management model. *Energy*, 74:190–201, 2014.
- Morrissey, A. J. e Browne, J. Waste management models and their application to sustainable waste management. *Waste Management*, 24(3):297–308, 2004.
- Nuortio, T., Kytöjoki, J., Niska, H., e Bräysy, O. Improved route planning and scheduling of waste collection and transport. *Expert Systems with Applications*, 30(2):223–232, 2006.
- Parekh, H., Yadav, K., Yadav, S., e Shah, N. Identification and assigning weight of indicator influencing performance of municipal solid waste management using AHP. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 19:36–45, 2014.
- Pires, A., Martinho, G., e Chang, N.-B. Solid waste management in European countries: a review of systems analysis techniques. *Journal of environmental management*, 92(4):1033–1050, 2011.
- Ramos, T. R. P., Gomes, M. I., e Barbosa-Póvoa, A. P. Economic and environmental concerns in planning recyclable waste collection systems. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 62:34–54, 2014.
- Ricci, M. Economic assessment of separate collection cost : tools to optimise it and the advantage of operative integration. In *ECN/ORBIT e.V. Source Separation Workshop 2003*, number 19, pages 1–10, 2003.
- Rodrigues, T., Ramos, P., Isabel, M., e Barbosa-Póvoa, A. P. Resources , Conservation and Recycling Assessing and improving management practices when planning packaging waste collection systems. *"Resources, Conservation & Recycling"*, 85:116–129, 2014.
- Saaty, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1):83, 2008.
- SPV. Relatório de atividades 2015, 2015. URL http://www.pontoverde.pt/assets/docs_publicacoes/relatorio_de_actividades_2015.pdf.
- Tsoufas, G. e Pappis, C. A model for supply chains environmental performance analysis and decision making. *Journal of Cleaner Production*, 16(15):1647–1657, 2008. ISSN 09596526. doi: 10.1016/j.jclepro.2008.04.018.

United Nations. *Indicators of Sustainable Development : Guidelines and Methodologies*. Number October. 2007.

Zaman, A. U. Identification of key assessment indicators of the zero waste management systems. *Ecological Indicators*, 36:682–693, 2014.

Zsigraiova, Z., Semiao, V., e Beijoco, F. Operation costs and pollutant emissions reduction by definition of new collection scheduling and optimization of MSW collection routes using GIS. The case study of Barreiro, Portugal. *Waste Management*, 33(4):793–806, 2013.